

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ, КОНТРОЛЮ ТА ВИПРОБУВАННЯ
ПОЛІГРАФІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ І ВИРОБІВ**

Практикум

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра,
за освітньою програмою «Технології друкованих і електронних видань»
спеціальності 186 «Видавництво та поліграфія»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2020

Методи досліджень, контролю та випробування поліграфічних матеріалів і виробів: Практикум. [Електронний ресурс]: навч. посібник для студ. спеціальності 186 «Видавництво та поліграфія» ОПП «Технології друкованих і електронних видань» / КПІ ім. Ігоря Сікорського / Уклад.: Т. А. Роїк. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,45 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 81 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 10 від 18.06.2020 р)
за поданням Вченої ради Видавничо-поліграфічного інституту (протокол № 10 від 27.05.2020 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ, КОНТРОЛЮ ТА ВИПРОБУВАННЯ ПОЛІГРАФІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ І ВИРОБІВ

Укладач: Тетяна РОЇК, д-р техн. наук, проф.

Відповідальний
редактор: Тетяна КИРИЧОК, д-р тех. наук, проф.

Рецензент: Олена ВЕЛИЧКО, зав. каф. репрографії, д-р техн. наук, проф.

Навчальний посібник охоплює прогресивні методи досліджень, контролю і вимірювання з подальшими розрахунками властивостей поліграфічних матеріалів і виробів з використанням сучасних приладів для механічних випробувань, фізико-хімічного та фізичного аналізу металевих, неметалевих матеріалів і виробів та технологічних розчинів. Посібник спрямований на поглиблення теоретичних знань і посилення навичок студентів у практичних розрахунках фізико-механічних, фізичних, фізико-хімічних властивостей металевих та неметалевих матеріалів, набуття умінь у розв'язанні типових задач щодо визначення характеристик поліграфічних матеріалів і виробів при виконанні фотометричного, емісійного, кондуктометричного, кулонометричного методів досліджень, фізико-механічних і фізико-хімічних методів контролю та випробувань. Представлені у посібнику методи вимірювання та розрахунку властивостей можуть використовуватись не тільки для визначення й контролю характеристик спеціальних матеріалів у поліграфічній галузі, а також для аналізу їх характеристик при контролі якості різних видів продукції інших галузей.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020

ВСТУП

Навчальний посібник є коротким керівництвом для практичних занять з дисципліни «Методи досліджень, контролю та випробування поліграфічних матеріалів і виробів», що входить до нормативних освітніх компонент з циклу дисциплін професійної підготовки за освітньо-професійною програмою магістерської підготовки «Технології друкованих і електронних видань» кваліфікаційного рівня магістр з видавництва та поліграфії.

Навчальний посібник складається з п'яти розділів. У кожному розділі наведені стислі теоретичні відомості і приклади розв'язання типових задач і контрольні питання, для відповідей на які студентам може знадобитися вивчення більш повних навчальних і довідкових видань зі списку, представленого у посібнику.

Представлений навчальний посібник містить 5 розділів: I– Оптичні методи аналізу, II – Електрохімічні методи аналізу, III – Фізико-механічні методи контролю властивостей металів і сплавів, IV – Методи контролю властивостей пластичних мас і гуми, V – Методи контролю властивостей паперу і картону.

Теоретичний рівень практичних робіт є доступним для студентів-магістрів 1 року навчання. Це дозволить їм набути навички, необхідні в майбутній роботі на поліграфічних підприємствах і наукових установах та розвине їх здатності самостійно виконувати науково-дослідні роботи.

У завдання до виконання практичних робіт входить закріплення теоретичних знань та практичних навичок з різних видів методів досліджень, контролю та випробувань матеріалів і виробів загального та поліграфічного призначення, опанування методиками сучасних методів дослідження, випробувань та аналізу їх властивостей.

Навчальний посібник призначений для виконання практичних робіт з оптичних, електрохімічних, фізико-механічних, фізико-хімічних методів аналізу властивостей поліграфічних матеріалів і виробів як навчальне електронне видання для студентів всіх форм навчання спеціальності 186 «Видавництво та поліграфія» ОПП «Технології друкованих і електронних видань» та може бути використане

студентами інших спеціальностей Видавничо-поліграфічного інституту КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Мета практичних занять – поглибити теоретичні знання з дисципліни і посилити навички у практичних розрахунках фізико-механічних, фізичних, фізико-хімічних властивостей металевих та неметалевих матеріалів, набути навички у розв’язанні типових задач щодо визначення характеристик матеріалів і виробів при виконанні фотометричного, емісійного, кондуктометричного, кулонометричного методів досліджень, фізико-механічних і фізико-хімічних методів контролю та випробувань.

У навчальному посібнику наведено прогресивні методи і прилади для проведення механічних випробувань, фізико-хімічного та фізичного аналізу властивостей матеріалів і виробів. Представлені у посібнику методи вимірювання та розрахунку властивостей використовують не тільки для визначення й контролю характеристик спеціальних матеріалів у поліграфічній галузі, а також застосовують для аналізу їх характеристик при контролі якості різних видів продукції.

I ОПТИЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ

До оптичних методів аналізу відносять фізико-хімічні методи, засновані на взаємодії електромагнітного випромінювання з речовиною. Ця взаємодія призводить до різних енергетичних переходів, які реєструються експериментально у вигляді поглинання випромінювання, відображення і розсіювання електромагнітного випромінювання. Оптичні методи включають в себе велику групу спектральних методів аналізу.

У методах атомної спектроскопії ми маємо справу з вузькими лінійчатими спектрами, а в методах молекулярної спектроскопії - з широкими слабкоструктурованими спектрами. Це визначає можливість їх застосування в кількісному аналізі та вимоги, що висуваються до виміральної апаратури - спектральних приладів.

1.1 Практична робота № 1

Фотометричний метод аналізу

Мета роботи – навчитись визначати концентрацію хімічних елементів в аналізованих технологічних розчинах, що застосовуються у поліграфії.

Основні поняття та визначення

Фотометричний аналіз відноситься до абсорбційних методів, тобто заснований на вимірюванні поглинання світла речовиною. Він включає спектрофотометрію, фотоколориметрію і візуальну фотометрію, яку зазвичай називають **колориметрією**.

Кожна речовина поглинає випромінювання з певними (характерними тільки для нього) довжинами хвиль, тобто довжина хвилі випромінювання, яке поглинається, індивідуальна для кожної речовини, і на цьому заснований якісний аналіз зі світлопоглинання.

Основою кількісного аналізу є закон Бугера-Ламберта-Бера:

$$A = \varepsilon l c$$

де $A = -\lg(I / I_0) = -\lg T$ – оптична густина;

I_0 та I – інтенсивність потоку світла, що направлене на поглинаючий розчин та яке пройшло крізь нього;

c – концентрація речовини, моль/л;

l – товщина світлопоглинаючого шару;

ε - молярний коефіцієнт світлопоглинання;

T - коефіцієнт пропускання.

Для визначення концентрації аналізованої речовини найбільш часто використовують такі методи: 1) молярного коефіцієнта світлопоглинання, 2) градувального графіка, 3) домішок, 4) диференціальної фотометрії; 5) фотометричного титрування.

Метод молярного коефіцієнта поглинання. При роботі за цим методом визначають оптичну густина декількох стандартних розчинів $A_{ст}$, для кожного розчину розраховують $\varepsilon = A_{ст} / (l c_{ст})$ і отримане значення ε усереднюють. Потім

вимірюють оптичну густину аналізованого розчину A_x і розраховують концентрацію c_x за формулою:

$$c_x = A_x / (\epsilon l)$$

Обмеженням методу є обов'язкове підпорядкування аналізованої системи закону Бугера-Ламберта-Бера, особливо, в області досліджуваних концентрацій.

Метод градувального графіка. Готують серію розведень стандартного розчину, вимірюють їх поглинання (оптичну густину), будують графік в координатах $A_{ст} - C_{ст}$. Потім вимірюють поглинання (оптичну густину) аналізованого розчину і за графіком визначають його концентрацію.

Метод домішок. Цей метод застосовують при аналізі розчинів складного складу, оскільки він дозволяє автоматично врахувати вплив «третіх» компонентів. Сутність його полягає в наступному. Спочатку визначають оптичну густину A_x аналізованого розчину, що містить визначуваний компонент невідомої концентрації c_x , а потім в аналізований розчин додають відому кількість досліджуваного компонента ($c_{ст}$) і знову вимірюють оптичну густину $A_{x+ст}$.

Оптична густина A_x аналізованого розчину дорівнює:

$$A_x = \epsilon l c_x,$$

а оптична густина аналізованого розчину з домішками стандартного

$$A_{x+ст} = \epsilon l (c_x + c_{ст}).$$

Концентрацію аналізованого розчину знаходимо за формулою:

$$c_x = c_{ст} A_x / (A_{x+ст} - A_x).$$

Метод диференціальної фотометрії. Якщо у звичайній фотометрії порівнюється інтенсивність світла, що пройшло крізь аналізований розчин невідомої концентрації, з інтенсивністю світла, що пройшло крізь розчинник, то у диференціальної фотометрії другий промінь світла проходить не крізь розчинник, а крізь пофарбований розчин відомої концентрації - так званий розчин порівняння.

Фотометричним методом можна визначати також компоненти суміші двох і більше речовин. Ці визначення базуються на властивості адитивності оптичної густини:

$$A_{\text{сум.}} = A_1 + A_2 + \dots + A_n,$$

де $A_{\text{сум.}}$ - оптична густина суміші; A_1, A_2, A_n - оптичні густини для різних компонентів суміші.

Фотометричні методи аналізу застосовуються для контролю різноманітних виробничих, у тому числі, поліграфічних процесів. Ці методи можуть бути застосовані для аналізу великих і малих сумішей, але особливо цінною їх особливістю є можливість визначення домішок (до $10^{-5} \dots 10^{-6} \%$). Методи абсорбційної спектроскопії використовують у хімічній, металургійній, фармацевтичній та інших галузях, а також в медицині сільськогосподарському виробництві та у поліграфії для дослідження складу і концентрацій технологічних розчинів.

Промисловістю випускаються прилади для абсорбційної спектроскопії: колориметри, фотометри, фотоелектроколориметри, спектрофотометри і т. д., в яких використовують різні комбінації освітлювачів, монохроматорів і приймачів світла.

Вирішення типових задач

Задача. Після розчинення 0,2500 г сталі (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 0,50 мг Ti , а також розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

3) у третю колбу – тільки розчин H_3PO_4 - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,650; A_{\text{х}} = 0,250.$$

Розрахувати масову частку (%) Ti у сталі.

Рішення.

1. Визначаємо $C_{\text{ст}}$ - концентрацію Ti, доданого зі стандартним розчином – з 1-ї колби:

$$C_{\text{ст.}} = 0,50 \text{ мг}/50,00 \text{ мл} = 1,00 \cdot 10^{-2} \text{ мг/мл},$$

де 0,50 мг – маса доданого Ti;

50,00 мл – об'єм розчину у 1-й колбі.

2. Розраховуємо концентрацію Ti аналізованого розчину – C_x – там, де була розчинена проба-стружка сталі:

$$C_x = C_{\text{ст.}} \times A_x / (A_{x+\text{ст.}} - A_x);$$

$$C_x = 1,00 \cdot 10^{-2} \times 0,250 / (0,650 - 0,250) = 6,25 \cdot 10^{-3} \text{ мг/мл}.$$

3. Визначаємо масу Ti у взятій пробі-стружці сталі, в г:

$$m = 6,25 \cdot 10^{-3} \times 50,00 \times 100,0 / 25,00 = 1,25 \text{ мг} = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ г},$$

де 50,00 мл – об'єм колб при досліджах;

100,0 мл – вихідний об'єм розчину сталі;

25,00 мл - об'єм розчину 1-ї колби з Ti.

4. Визначаємо масову частку Ti (%) у пробі-стружці сталі:

$$\omega_{\text{Ti}} = (1,25 \cdot 10^{-3} \text{ г} / 0,2500 \text{ г}) \times 100\% = 0,50\% \text{ Ti}.$$

Відповідь: масова частка Ti в досліджуваній сталі складає 0,50%.

Завдання студенту

А. Виконати розрахунки концентрацій хімічних елементів у аналізованих розчинах методом фотометричного аналізу згідно індивідуальних завдань №№ 1 – 35.

Б. Проаналізувати одержані розрахунки масової частки (%) шуканого елемента в залежності від оптичної густини.

1.1.1 Індивідуальні завдання

1. Після розчинення 0,1500 г сталі (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 0,30 мг Si, а також розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

3) у третю колбу – тільки розчин H_3PO_4 - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,550; A_{\text{х}} = 0,320.$$

Розрахувати масову частку (%) Si у сталі.

2. Після розчинення 0,1800 г сталі (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 0,65 мг Ni, а також розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

3) у третю колбу – тільки розчин H_3PO_4 - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,740; A_{\text{х}} = 0,420.$$

Розрахувати масову частку (%) Ni у сталі.

3. Після розчинення 0,1500 г сталі (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 0,30 мг Mn, а також розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

3) у третю колбу – тільки розчин H_3PO_4 - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,380; A_{\text{х}} = 0,160.$$

Розрахувати масову частку (%) Mn у сталі.

4. Після розчинення 0,2000 г сталі (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 0,70 мг Cu, а також розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

3) у третю колбу – тільки розчин H_3PO_4 - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,750; A_{\text{х}} = 0,350.$$

Розрахувати масову частку (%) Cu у сталі.

5. Після розчинення 0,400 г сталі (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 0,80 мг Со, а також розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

3) у третю колбу – тільки розчин H_3PO_4 - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,450; A_{\text{х}} = 0,150.$$

Розрахувати масову частку (%) Со у сталі.

6. Після розчинення 0,1700 г сталі (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 0,67 мг Сг, а також розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

3) у третю колбу – тільки розчин H_3PO_4 - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,550; A_{\text{х}} = 0,180.$$

Розрахувати масову частку (%) Сг у сталі.

7. Після розчинення 0,2000 г сталі (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 0,90 мг V, а також розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

3) у третю колбу – тільки розчин H_3PO_4 - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,780; A_{\text{х}} = 0,340.$$

Розрахувати масову частку (%) V у сталі.

8. Після розчинення 0,3500 г сталі (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 0,97 мг W, а також розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

3) у третю колбу – тільки розчин H_3PO_4 - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,550; A_{\text{х}} = 0,140.$$

Розрахувати масову частку (%) W у сталі.

9. Після розчинення 0,3300 г сталі (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 0,45 мг Al, а також розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

3) у третю колбу – тільки розчин H_3PO_4 - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,230; A_{\text{х}} = 0,110.$$

Розрахувати масову частку (%) Al у сталі.

10. Після розчинення 0,1800 г сталі (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 0,75 мг Мо, а також розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

3) у третю колбу – тільки розчин H_3PO_4 - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,820; A_{\text{х}} = 0,610.$$

Розрахувати масову частку (%) Мо у сталі.

11. Після розчинення 0,3100 г сталі (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 0,45 мг Та, а також розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

3) у третю колбу – тільки розчин H_3PO_4 - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,530; A_{\text{х}} = 0,190.$$

Розрахувати масову частку (%) Та у сталі.

12. Після розчинення 0,4100 г сталі (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 0,30 мг Nb, а також розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

3) у третю колбу – тільки розчин H_3PO_4 - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,410; A_{\text{х}} = 0,130.$$

Розрахувати масову частку (%) Nb у сталі.

13. Після розчинення 0,4000 г сталі (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 0,80 мг W, а також розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

3) у третю колбу – тільки розчин H_3PO_4 - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,950; A_{\text{х}} = 0,570.$$

Розрахувати масову частку (%) W у сталі.

14. Після розчинення 0,3700 г сталі (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 0,75 мг Mn, а також розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

3) у третю колбу – тільки розчин H_3PO_4 - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,740; A_{\text{х}} = 0,480.$$

Розрахувати масову частку (%) Mn у сталі.

15. Після розчинення 0,2200 г сталі (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 0,05 мг Zr, а також розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

3) у третю колбу – тільки розчин H_3PO_4 - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,250; A_{\text{х}} = 0,040.$$

Розрахувати масову частку (%) Zr у сталі.

16. Після розчинення 0,2400 г сталі (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 0,007 мг Y, а також розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

3) у третю колбу – тільки розчин H_3PO_4 - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,150; A_{\text{х}} = 0,009.$$

Розрахувати масову частку (%) Y у сталі.

17. Після розчинення 0,3100 г сталі (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 0,10 мг Се, а також розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин H_3PO_4 ;

3) у третю колбу – тільки розчин H_3PO_4 - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,370; A_{\text{х}} = 0,089.$$

Розрахувати масову частку (%) Се у сталі.

18. Після розчинення 0,2800 г сплаву Д16 (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 0,40 мг Си, а також розчин H_2O_2 і розчин NaOH ;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин NaOH ;

3) у третю колбу – тільки розчин NaOH - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,270; A_{\text{х}} = 0,050.$$

Розрахувати масову частку (%) Си у сплаві Д16.

19. Після розчинення 0,3200 г сплаву Д21 (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 0,32 мг Mg, а також розчин H_2O_2 і розчин NaOH;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин NaOH;

3) у третю колбу – тільки розчин NaOH - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,290; A_{\text{х}} = 0,074.$$

Розрахувати масову частку (%) Mg у сплаві Д21.

20. Після розчинення 0,4100 г сплаву Д9 (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 0,48 мг Si, а також розчин H_2O_2 і розчин NaOH;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин NaOH;

3) у третю колбу – тільки розчин NaOH - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,370; A_{\text{х}} = 0,104.$$

Розрахувати масову частку (%) Si у сплаві Д9.

21. Після розчинення 0,2200 г сплаву АК12 (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 0,12 мг Ni, а також розчин H_2O_2 і розчин NaOH;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин NaOH;

3) у третю колбу – тільки розчин NaOH - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,250; A_{\text{х}} = 0,062.$$

Розрахувати масову частку (%) Ni у сплаві АК12.

22. Після розчинення 0,2300 г сплаву АК5М (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 0,12 мг Ве, а також розчин H_2O_2 і розчин NaOH;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин NaOH;

3) у третю колбу – тільки розчин NaOH - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,250; A_{\text{х}} = 0,086.$$

Розрахувати масову частку (%) Ве у сплаві АК5М.

23. Після розчинення 0,3200 г сплаву АК10Су (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 0,28 мг Sb, а також розчин H_2O_2 і розчин NaOH;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин NaOH;

3) у третю колбу – тільки розчин NaOH - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,380; A_{\text{х}} = 0,115.$$

Розрахувати масову частку (%) Sb у сплаві АК10Су.

24. Після розчинення 0,2700 г сплаву АК12М2МгН (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 0,90 мг Cu, а також розчин H_2O_2 і розчин NaOH;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин NaOH;

3) у третю колбу – тільки розчин NaOH - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,690; A_{\text{х}} = 0,273.$$

Розрахувати масову частку (%) Cu у сплаві АК12М2МгН.

25. Після розчинення 0,1700 г сплаву АМ4,5Кд (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 0,72 мг Cd, а також розчин H_2O_2 і розчин NaOH;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин NaOH;

3) у третю колбу – тільки розчин NaOH - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,720; A_{\text{х}} = 0,360.$$

Розрахувати масову частку (%) Cd у сплаві АМ4,5Кд.

26. Після розчинення 0,2400 г сплаву АК12М2 (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 0,75 мг Fe, а також розчин H_2O_2 і розчин NaOH;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин NaOH;

3) у третю колбу – тільки розчин NaOH - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,370; A_{\text{х}} = 0,110.$$

Розрахувати масову частку (%) Fe у сплаві АК12М2.

27. Після розчинення 0,2700 г сплаву АК9М2 (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 0,18 мг Pb, а також розчин H_2O_2 і розчин NaOH;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин NaOH;

3) у третю колбу – тільки розчин NaOH - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{x+ст.} = 0,370; A_x = 0,165.$$

Розрахувати масову частку (%) Pb у сплаві АК9М2.

28. Після розчинення 0,2400 г бронзи Бр.Б2 (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 1,00 мг Ве, а також розчин H_2O_2 і розчин H_2SO_4 ;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин H_2SO_4 ;

3) у третю колбу – тільки розчин H_2SO_4 - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{x+ст.} = 0,850; A_x = 0,450.$$

Розрахувати масову частку (%) Ве у бронзі Бр.Б2.

29. Після розчинення 0,3000 г бронзи Бр.ОЦС5-5-5 (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 2,00 мг Sn а також розчин H_2O_2 і розчин H_2SO_4 ;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин H_2SO_4 ;

3) у третю колбу – тільки розчин H_2SO_4 - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,770; A_{\text{х}} = 0,420.$$

Розрахувати масову частку (%) Sn у бронзі Бр.ОЦС5-5-5.

30. Після розчинення 0,3500 г бронзи Бр.ОЦС6-6-3 (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 1,50 мг Zn, а також розчин H_2O_2 і розчин H_2SO_4 ;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин H_2SO_4 ;

3) у третю колбу – тільки розчин H_2SO_4 - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,790; A_{\text{х}} = 0,650.$$

Розрахувати масову частку (%) Zn у бронзі Бр.ОЦС6-6-3.

31. Після розчинення 0,2500 г бронзи Бр.АЖ9-4 (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 5,00 мг Al, а також розчин H_2O_2 і розчин H_2SO_4 ;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин H_2SO_4 ;

3) у третю колбу – тільки розчин H_2SO_4 - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,950; A_{\text{х}} = 0,800.$$

Розрахувати масову частку (%) Al у бронзі Бр.АЖ9-4.

32. Після розчинення 0,1800 г латуні Л60 (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 0,20 мг Fe, а також розчин H_2O_2 і розчин H_2SO_4 ;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин H_2SO_4 ;

3) у третю колбу – тільки розчин H_2SO_4 - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,450; A_{\text{х}} = 0,130.$$

Розрахувати масову частку (%) Fe у латуні Л60.

33. Після розчинення 0,1900 г латуні ЛКС80-3-3 (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 3,00 мг Pb, а також розчин H_2O_2 і розчин H_2SO_4 ;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин H_2SO_4 ;

3) у третю колбу – тільки розчин H_2SO_4 - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,770; A_{\text{х}} = 0,140.$$

Розрахувати масову частку (%) Pb у латуні ЛКС80-3-3.

34. Після розчинення 0,2000 г латуні ЛАЖ60-1-1Л (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 1,00 мг Al, а також розчин H_2O_2 і розчин H_2SO_4 ;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин H_2SO_4 ;

3) у третю колбу – тільки розчин H_2SO_4 - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,950; A_{\text{х}} = 0,320.$$

Розрахувати масову частку (%) Al у латуні ЛАЖ60-1-1Л.

35. Після розчинення 0,2500 г латуні ЛМЦС58-2-2 (проба-стружка) розчин розбавили до 100,0 мл (одержали вихідний об'єм розчину).

У три колби місткістю по 50,00 мл налили по 25,00 мл цього розбавленого розчину і додали (до рівня мітки 50,0 мл – тобто до повної колби):

1) у першу колбу – стандартний розчин (з відомою концентрацією), який містить 1,80 мг Mn, а також розчин H_2O_2 і розчин H_2SO_4 ;

2) у другу колбу - розчин H_2O_2 і розчин H_2SO_4 ;

3) у третю колбу – тільки розчин H_2SO_4 - (нульовий розчин).

Ці розчини у трьох колбах фотометрували на приладі – фотоколориметрі, а саме, два перших розчина фотометрували відносно третього – нульового (без кольору).

Одержали значення оптичних густин:

$$A_{\text{х+ст.}} = 0,710; A_{\text{х}} = 0,250.$$

Розрахувати масову частку (%) Mn у латуні ЛМЦС58-2-2.

1.1.2 Контрольні питання

1. У чому полягає сутність колориметричного, фотометричного та спектрофотометричного методів аналізу?
2. Привести рівняння, що зв'язують коефіцієнт пропускання T і оптичну густину A .
3. Які фактори впливають на молярний коефіцієнт поглинання (ϵ)?
4. В яких координатах можна представити спектр поглинання?
5. Яка сутність закону Бугера-Ламберта-Бера?
6. Як проводиться вибір оптимальних умов фотометричних визначень:
а) довжина хвилі; б) товщина світлопоглинаючого шару (кювети),
в) концентрації?
7. Поясніть сутність методів визначення концентрації аналізованої речовини: 1) градуювального графіка; 2) методу домішок.
8. У якому випадку в фотометричному аналізі використовується властивість адитивності оптичної густини?
9. Назвіть особливості спектрофотометрії в ультрафіолетовій області спектра і приведіть приклади кількісних визначень.
10. На чому базується якісний аналіз з поглинання в інфрачервоній області спектра?

11. Назвіть основні вузли приладів для аналізів зі світлопоглинання. Яке призначення кожного з цих вузлів?
12. Назвіть фотометричні прилади, призначені для роботи у: а) видимій, б) ультрафіолетовій; в) інфрачервоній ділянці спектра.
13. В якому спектральному інтервалі як джерело світла використовують лампу розжарювання, водневу лампу, штифт Нернста, ртутну лампу?
14. Для яких областей спектра призначені прилади, оптичні деталі яких виконані зі: а) скла; б) кварцу, в) кухонної солі?

1.2 Практична робота № 2

Емісійний спектральний аналіз

Мета роботи – навчитись визначати довжину хвилі шуканої лінії у спектрі аналізованого розчину.

Основні поняття та визначення

Емісійний спектральний аналіз базується на отриманні та вивченні спектрів випускання (емісійних спектрів). За положенням і відносною інтенсивністю окремих ліній в цих спектрах проводять якісний спектральний аналіз. Порівнюючи інтенсивність спеціально обраних спектральних ліній у спектрі проби з інтенсивністю тих самих ліній в спектрах еталонів, визначають вміст хімічного елементу, виконуючи, таким чином, кількісний спектральний аналіз.

Якісний спектральний аналіз базується на індивідуальності емісійних спектрів кожного хімічного елемента і зводиться, як правило, до визначення довжин хвиль ліній в спектрі і встановлення приналежності цих ліній тому чи іншому елементу. Розшифрування спектрів здійснюється або на стилоскопах (візуально), або, найчастіше, на спектропроекторі або мікроскопі після фотографування спектрів на камеру.

Кількісний спектральний аналіз базується на тому, що інтенсивність спектральних ліній хімічного елемента залежить від концентрації цього елемента в пробі. Залежність інтенсивності спектральної лінії від концентрації має складний

характер. У певному інтервалі концентрацій при сталості умов збудження ця залежність виражається емпіричним рівнянням Б. Б. Ломакіна:

$$I = a c^b,$$

де I - інтенсивність спектральної лінії; a - стала, що об'єднує властивості лінії (іскрова, дугова лінія, вузька, широка), умови збудження (швидкість випаровування, швидкість дифузії) та інші фактори; c - концентрація елемента в пробі; b - коефіцієнт самопоглинання.

Найбільш широко розповсюдженими приладами в емісійному спектральному аналізі є кварцові спектрографи різних модифікацій. Серед приладів для візуального спектрального аналізу часто застосовують стилоскопи і стилметри. Для реалізації фотоелектричних методів використовують дифрактометри (квантометри) різних модифікацій.

Вирішення типових задач

Задача. Для визначення довжини хвилі певної лінії λ_x було обрано дві лінії у спектрі заліза з відомими довжинами хвиль: $\lambda_1 = 325,436$ та $\lambda_2 = 328,026$ нм. На вимірjuвальній шкалі мікроскопа були одержані наступні розрахунки: $b_1=9,12$, $b_2=10,48$, $b_x=10,33$ мм. Яка довжина хвилі шуканої лінії у спектрі аналізованого зразка?

Рішення. Так як обрані лінії заліза λ_1 та λ_2 знаходяться відповідно зліва та справа від певної лінії, для розрахунку λ_x застосуємо рівняння

$$\lambda_x = \lambda_1 + (a_1 / (a_1 + a_2))(\lambda_2 - \lambda_1).$$

Спочатку знаходимо значення відстаней a_1 та a_2 на шкалі за даними розрахунку:

$$a_1 = b_x - b_1 = 10,13 - 9,12 = 1,01 \text{ мм}; \quad a_2 = b_2 - b_x = 10,48 - 10,13 = 0,35 \text{ мм}.$$

Підставляємо відповідні числові значення у рівняння та знаходимо значення λ_x :

$$\lambda_x = 325,436 + 1,01 / (1,01 + 0,35) (328,026 - 325,436) = 327,360 \text{ нм}.$$

Відповідь: Довжина хвилі шуканої лінії у спектрі дорівнює 327,360 нм.

Завдання студенту

А. Знайти довжину хвилі шуканої лінії у спектрі у аналізованих розчинах методом емісійного спектрального аналізу згідно індивідуальних завдань №№ 1 – 33.

Б. Проаналізувати одержані розрахунки довжини хвилі в залежності від відстаней на вимірювальній шкалі мікроскопа.

1.2.1 Індивідуальні завдання

1. Знайти λ_x , якщо $\lambda_1=248,136$ нм, $\lambda_2=255,018$ нм, а відлік відстаней за вимірюваною шкалою $b_1=8,14$; $b_2=9,36$; $b_x=9,08$ мм.
2. Знайти λ_x , якщо $\lambda_1=196,344$ нм, $\lambda_2=198,214$ нм, а відлік відстаней за вимірюваною шкалою $b_1=7,49$; $b_2=8,55$; $b_x=8,21$ мм.
3. Знайти λ_x , якщо $\lambda_1=317,547$ нм, $\lambda_2=322,077$ нм, а відлік відстаней за вимірюваною шкалою $b_1=10,07$; $b_2=10,53$; $b_x=10,18$ мм.
4. Знайти λ_x , якщо $\lambda_1=421,189$ нм, $\lambda_2=428,046$ нм, а відлік відстаней за вимірюваною шкалою $b_1=11,42$; $b_2=11,98$; $b_x=11,65$ мм.
5. Знайти λ_x , якщо $\lambda_1=322,346$ нм, $\lambda_2=325,018$ нм, а відлік відстаней за вимірюваною шкалою $b_1=8,14$; $b_2=9,45$; $b_x=9,12$ мм.
6. Знайти λ_x , якщо $\lambda_1=224,186$ нм, $\lambda_2=227,141$ нм, а відлік відстаней за вимірюваною шкалою $b_1=9,16$; $b_2=10,21$; $b_x=10,07$ мм.
7. Знайти λ_x , якщо $\lambda_1=509,171$ нм, $\lambda_2=514,203$ нм, а відлік відстаней за вимірюваною шкалою $b_1=10,22$; $b_2=11,44$; $b_x=10,54$ мм.
8. Знайти λ_x , якщо $\lambda_1=279,153$ нм, $\lambda_2=318$ нм, а відлік відстаней за вимірюваною шкалою $b_1=12,03$; $b_2=12,97$; $b_x=12,44$ мм.
9. Знайти λ_x , якщо $\lambda_1=308,435$ нм, $\lambda_2=311,148$ нм, а відлік відстаней за вимірюваною шкалою $b_1=11,15$; $b_2=11,77$; $b_x=11,52$ мм.
10. Знайти λ_x , якщо $\lambda_1=477,034$ нм, $\lambda_2=480,117$ нм, а відлік відстаней за вимірюваною шкалою $b_1=10,22$; $b_2=11,01$; $b_x=10,89$ мм.
11. Знайти λ_x , якщо $\lambda_1=319,777$ нм, $\lambda_2=321,164$ нм, а відлік відстаней за вимірюваною шкалою $b_1=9,24$; $b_2=10,55$; $b_x=10,31$ мм.

12. Знайти λ_2 , якщо $\lambda_1=325,314$ нм, $\lambda_x=327,240$ нм, а відлік відстаней за вимірюваною шкалою $b_1=9,03$; $b_2=10,24$; $b_x=10,09$ мм.
13. Знайти λ_2 , якщо $\lambda_1=325,436$ нм, $\lambda_x=325,722$ нм, а відлік відстаней за вимірюваною шкалою $b_1=9,13$; $b_2=10,49$; $b_x=10,14$ мм.
14. Знайти λ_2 , якщо $\lambda_1=254,341$ нм, $\lambda_x=255,018$ нм, а відлік відстаней за вимірюваною шкалою $b_1=7,48$; $b_2=8,34$; $b_x=8,11$ мм.
15. Знайти λ_2 , якщо $\lambda_1=401,183$ нм, $\lambda_x=402,244$ нм, а відлік відстаней за вимірюваною шкалою $b_1=10,55$; $b_2=10,91$; $b_x=10,67$ мм.
16. Знайти λ_2 , якщо $\lambda_1=359,186$ нм, $\lambda_x=359,318$ нм, а відлік відстаней за вимірюваною шкалою $b_1=9,02$; $b_2=9,47$; $b_x=9,24$ мм.
17. Знайти λ_2 , якщо $\lambda_1=277,612$ нм, $\lambda_x=277,911$ нм, а відлік відстаней за вимірюваною шкалою $b_1=10,14$; $b_2=10,73$; $b_x=10,47$ мм.
18. Знайти λ_2 , якщо $\lambda_1=409,013$ нм, $\lambda_x=409,217$ нм, а відлік відстаней за вимірюваною шкалою $b_1=9,34$; $b_2=9,96$; $b_x=9,41$ мм.
19. Знайти λ_2 , якщо $\lambda_1=248,018$ нм, $\lambda_x=249,00$ нм, а відлік відстаней за вимірюваною шкалою $b_1=8,22$; $b_2=8,61$; $b_x=8,38$ мм.
20. Знайти λ_2 , якщо $\lambda_1=521,722$ нм, $\lambda_x=521,974$ нм, а відлік відстаней за вимірюваною шкалою $b_1=11,18$; $b_2=11,59$; $b_x=11,31$ мм.
21. Знайти λ_2 , якщо $\lambda_1=98,034$ нм, $\lambda_x=399,003$ нм, а відлік відстаней за вимірюваною шкалою $b_1=10,71$; $b_2=10,99$; $b_x=10,80$ мм.
22. Знайти λ_2 , якщо $\lambda_1=246,062$ нм, $\lambda_x=246,744$ нм, а відлік відстаней за вимірюваною шкалою $b_1=8,53$; $b_2=8,87$; $b_x=8,71$ мм.
23. Знайти λ_2 , якщо $\lambda_1=309,220$ нм, $\lambda_x=309,873$ нм, а відлік відстаней за вимірюваною шкалою $b_1=9,17$; $b_2=9,65$; $b_x=9,32$ мм.
24. Знайти λ_2 , якщо $\lambda_1=634,218$ нм, $\lambda_x=634,722$ нм, а відлік відстаней за вимірюваною шкалою $b_1=12,08$; $b_2=12,71$; $b_x=12,37$ мм.
25. Знайти λ_1 , якщо $\lambda_2=147,018$ нм, $\lambda_x=145,137$ нм, а відлік відстаней за вимірюваною шкалою $b_1=7,22$; $b_2=7,88$; $b_x=7,52$ мм.
26. Знайти λ_1 , якщо $\lambda_2=266,211$ нм, $\lambda_x=265,114$ нм, а відлік відстаней за вимірюваною шкалою $b_1=8,32$; $b_2=8,81$; $b_x=8,56$ мм.

27. Знайти λ_1 , якщо $\lambda_2=329,124$ нм, $\lambda_x=326,207$ нм, а відлік відстаней за вимірюваною шкалою $b_1=9,12$; $b_2=10,02$; $b_x=9,73$ мм.
28. Знайти λ_1 , якщо $\lambda_2=418,105$ нм, $\lambda_x=416,711$ нм, а відлік відстаней за вимірюваною шкалою $b_1=10,24$; $b_2=10,88$; $b_x=10,62$ мм.
29. Знайти λ_1 , якщо $\lambda_2=741,305$ нм, $\lambda_x=738,722$ нм, а відлік відстаней за вимірюваною шкалою $b_1=12,20$; $b_2=12,63$; $b_x=12,41$ мм.
30. Знайти λ_1 , якщо $\lambda_2=507,617$ нм, $\lambda_x=504,562$ нм, а відлік відстаней за вимірюваною шкалою $b_1=7,45$; $b_2=7,89$; $b_x=7,71$ мм.
31. Знайти λ_1 , якщо $\lambda_2=524,318$ нм, $\lambda_x=522,128$ нм, а відлік відстаней за вимірюваною шкалою $b_1=7,03$; $b_2=7,28$; $b_x=7,14$ мм.
32. Знайти λ_1 , якщо $\lambda_2=338,625$ нм, $\lambda_x=335,507$ нм, а відлік відстаней за вимірюваною шкалою $b_1=8,24$; $b_2=8,66$; $b_x=8,41$ мм.
33. Знайти λ_1 , якщо $\lambda_2=273,516$ нм, $\lambda_x=271,407$ нм, а відлік відстаней за вимірюваною шкалою $b_1=9,08$; $b_2=9,44$; $b_x=9,27$ мм.

1.2.2 Контрольні питання

1. Яка природа і походження атомних емісійних спектрів? Чому атомні спектри мають лінійчатий характер?
2. Від чого залежить інтенсивність спектральних ліній?
3. Назвіть основні вузли спектральних приладів і вкажіть їх призначення.
4. На чому базується якісний спектральний аналіз? Які прилади використовуються для проведення якісного аналізу?
5. Від яких факторів залежить інтенсивність спектральних ліній?
6. У чому полягає сутність методів кількісного спектрального аналізу?

1.3 Практична робота № 3

Полум'яна емісійна спектроскопія

Мета роботи - навчитись визначати вміст хімічного елементу в розчині методом полум'яної емісійної спектроскопії.

Основні поняття та визначення

Поява спеціалізованих полум'яних емісійних спектрометрів призвела до відокремлення методів фотометрії полум'я і додала йому відому самостійність.

Як і будь-який інший прилад емісійної спектроскопії, фотометр для фотометрії полум'я має джерело збудження (полум'яний пальник), диспергуючий елемент (зазвичай світлофільтр) і приймач світла - рецептор (зазвичай фотоелемент). У спектрофотометрах для полум'я замість світлофільтрів застосовують призми і дифракційні ґратки. Аналізований розчин вводиться в полум'я пальника у вигляді аерозолі. При цьому розчинник випаровується, а солі металу дисоціюють на атоми, які при певній температурі збуджуються. Збуджені атоми, переходячи в нормальний стан, випромінюють світло характерної частоти, яке виділяється за допомогою світлофільтрів, а його інтенсивність вимірюється фотоелементом.

Кількісні визначення проводять методом калібрувального графіка і методом домішок за формулою:

$$c_x = c_{\text{дом}} I_x / (I_{x+\text{дом}} - I_x),$$

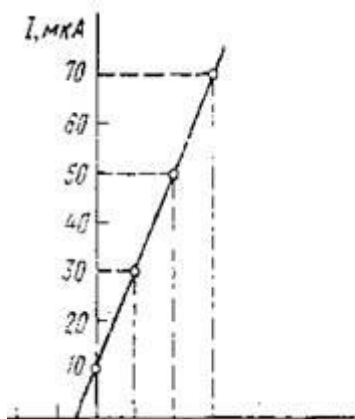
де c_x - концентрація елементу, що визначається; I_x та $I_{x+\text{дом}}$ - покази приладу при фотометруванні досліджуваного розчину без домішок і з додаванням стандартного розчину аналізованого хімічного елементу.

Методами емісійного спектрального аналізу виконується значна частина аналізів у різних галузях промисловості. Аналізується вихідна сировина і готова продукція. Суттєву роль цей метод відіграє для аналізу природних та стічних вод, ґрунту, атмосфери та інших об'єктів навколишнього середовища, а також у медицині, біології і для аналізу витратних технологічних розчинів у поліграфічній галузі.

Середня межа виявлення вмісту хімічних елементів методами емісійної спектроскопії становить від $10^{-3} \dots 10^{-4} \%$ до $10^{-5} \%$. Похибка визначення характеризується в середньому величиною 1-2%.

Вирішення типових задач

Задача. Визначити вміст Ca^{2+} в розчині (в мкг/см^3), якщо при фотометруванні полум'я цього розчину методом домішок отримані наступні результати при домішках стандарту $x=10 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I=30 \text{ мкА}$, а при $x=20 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I=50 \text{ мкА}$.



Розв'язання

Будуємо калібрувальний графік полум'яно-фотометричного визначення Ca^{2+} таким чином, щоб розчин без домішки прирівнювався до нульової концентрації. Відрізок на осі абсцис, що відсікається прямою, дає $C_x = 5 \text{ мкг/см}^3$.

Відповідь: Вміст Ca^{2+} в розчині дорівнює 5 мкг/см^3 .

Завдання студенту

А. Визначити вміст хімічного елемента в аналізованих розчинах методом полум'яної емісійної спектроскопії згідно індивідуальних завдань №№ 1 – 34.

Б. Проаналізувати одержані розрахунки в залежності від вмісту домішок у стандартному розчині.

1.3.1 Індивідуальні завдання

1. Знайти вміст Cu^{2+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 18 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I=20 \text{ мкА}$, а при $x = 24 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I=25 \text{ мкА}$.
2. Знайти вміст Ni^{2+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 30 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I=20 \text{ мкА}$, а при $x = 35 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I=40 \text{ мкА}$.

3. Знайти вміст Na^{2+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 20 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 25 \text{ мкА}$, а при $x = 25 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 55 \text{ мкА}$.
4. Знайти вміст K^{1+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 15 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 20 \text{ мкА}$, а при $x = 20 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 50 \text{ мкА}$.
5. Знайти вміст Fe^{3+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 10 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 25 \text{ мкА}$, а при $x = 15 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 45 \text{ мкА}$.
6. Знайти вміст Mg^{2+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 15 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 30 \text{ мкА}$, а при $x = 25 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 48 \text{ мкА}$.
7. Знайти вміст Zn^{2+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 25 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 20 \text{ мкА}$, а при $x = 30 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 35 \text{ мкА}$.
8. Знайти вміст Al^{3+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 20 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 30 \text{ мкА}$, а при $x = 30 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 60 \text{ мкА}$.
9. Знайти вміст Ca^{2+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 18 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 25 \text{ мкА}$, а при $x = 30 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 45 \text{ мкА}$.
10. Знайти вміст Cu^{2+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 10 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 30 \text{ мкА}$, а при $x = 17 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 50 \text{ мкА}$.
11. Знайти вміст Na^{1+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 12 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 20 \text{ мкА}$, а при $x = 22 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 40 \text{ мкА}$.
12. Знайти вміст Cd^{2+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 15 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 28 \text{ мкА}$, а при $x = 21 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 36 \text{ мкА}$.

13. Знайти вміст Fe^{3+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 18 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 32 \text{ мкА}$, а при $x = 26 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 43 \text{ мкА}$.
14. Знайти вміст Co^{2+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 31 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 41 \text{ мкА}$, а при $x = 39 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 56 \text{ мкА}$.
15. Знайти вміст Cu^{2+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 14 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 22 \text{ мкА}$, а при $x = 23 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 41 \text{ мкА}$.
16. Знайти вміст Zn^{2+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 27 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 37 \text{ мкА}$, а при $x = 33 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 44 \text{ мкА}$.
17. Знайти вміст Na^{1+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 16 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 24 \text{ мкА}$, а при $x = 19 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 29 \text{ мкА}$.
18. Знайти вміст K^{1+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 24 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 31 \text{ мкА}$, а при $x = 36 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 60 \text{ мкА}$.
19. Знайти вміст Al^{3+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 18 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 22 \text{ мкА}$, а при $x = 26 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 47 \text{ мкА}$.
20. Знайти вміст Mg^{2+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 25 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 40 \text{ мкА}$, а при $x = 30 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 66 \text{ мкА}$.
21. Знайти вміст Ni^{2+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 21 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 14 \text{ мкА}$, а при $x = 29 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 28 \text{ мкА}$.
22. Знайти вміст Co^{2+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 26 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 19 \text{ мкА}$, а при $x = 31 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 30 \text{ мкА}$.

23. Знайти вміст Na^{1+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 25 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 31 \text{ мкА}$, а при $x = 34 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 49 \text{ мкА}$.
24. Знайти вміст Mg^{2+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 17 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 24 \text{ мкА}$, а при $x = 26 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 45 \text{ мкА}$.
25. Знайти вміст Zn^{2+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 34 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 46 \text{ мкА}$, а при $x = 41 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 70 \text{ мкА}$.
26. Знайти вміст Cu^{2+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 26 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 37 \text{ мкА}$, а при $x = 33 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 56 \text{ мкА}$.
27. Знайти вміст Cd^{2+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 19 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 31 \text{ мкА}$, а при $x = 24 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 52 \text{ мкА}$.
28. Знайти вміст Al^{3+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 27 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 38 \text{ мкА}$, а при $x = 38 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 74 \text{ мкА}$.
29. Знайти вміст Ca^{2+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 22 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 29 \text{ мкА}$, а при $x = 29 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 43 \text{ мкА}$.
30. Знайти вміст Co^{2+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 12 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 18 \text{ мкА}$, а при $x = 21 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 34 \text{ мкА}$.
31. Знайти вміст Fe^{3+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 23 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 38 \text{ мкА}$, а при $x = 32 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 57 \text{ мкА}$.
32. Знайти вміст Ni^{2+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 14 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 19 \text{ мкА}$, а при $x = 29 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 43 \text{ мкА}$.

33. Знайти вміст Cu^{2+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 19 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 32 \text{ мкА}$, а при $x = 28 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 66 \text{ мкА}$.
34. Знайти вміст Na^{1+} у розчині, якщо при додаванні стандартного розчину з концентрацією $x = 22 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 37 \text{ мкА}$, а при $x = 30 \text{ мкг/см}^3$ покази приладу $I = 59 \text{ мкА}$.

1.3.2 Контрольні питання

1. Які властивості атомів та іонів лежать в основі методу полум'яної фотометрії?
2. Який принцип покладено в основу роботи полум'яного фотометра?
3. Чому метод полум'яної емісійної спектроскопії особливо поширений при визначенні лужних і лужноземельних металів?
4. Якими способами розраховують кількісний вміст речовини в методі полум'яної фотометрії розчинів?
5. Наведіть загальну характеристику методів емісійного спектрального аналізу.
6. Наведіть загальну характеристику методу фотометрії полум'я. Які основні прийоми роботи використовуються в методі фотометрії полум'я? Які переваги і недоліки має цей метод?

II. ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ

Електрохімічні методи аналізу та дослідження засновані на вивченні і використанні процесів, що протікають на поверхні електрода або в приелектродному просторі. Будь-який електричний параметр (потенціал, сила струму, опір та ін.), функціонально пов'язаний з концентрацією аналізованого розчину і піддається правильному вимірюванню, може служити аналітичним сигналом.

Розрізняють *прямі* і *непрямі* електрохімічні методи. У прямих методах використовують залежність сили струму (потенціалу і т.д.) від концентрації визначуваного компонента. В непрямих методах силу струму (потенціал і т.д.) вимірюють з метою знаходження кінцевої точки титрування визначуваного

компонента відповідним титрантом, тобто використовують залежність вимірюваного параметра від обсягу титранту.

Для будь-якого роду електрохімічних вимірювань необхідний електрохімічний ланцюг або електрохімічна комірка, складовою частиною якої є аналізований розчин.

2.1 Практична робота № 4

Кондуктометричний метод аналізу

Мета роботи – навчитись визначати питому та еквівалентну електричну провідність аналізованого розчину методом кондуктометричного аналізу.

Основні поняття та визначення

Кондуктометричний метод аналізу заснований на вимірюванні електропровідності аналізованого розчину.

Електропровідністю називають величину, зворотну електричному опору **R**. Одиницею вимірювання електропровідності є Ом⁻¹ або Сіменс (См). Розчини електролітів, що є провідниками II роду, підкоряються закону Ома аналогічно провідникам I роду. За аналогією з опором провідників I роду, опір розчину прямо пропорційний відстані між електродами **l** і обернено пропорційний площі їх поверхні **S**:

$$R = \rho (l / S),$$

де **ρ** - питомий опір (Ом×см). При **l** = 1 см і **S** = 1 см² маємо, що чисельно **R** = **ρ**. Отже, питомий опір дорівнює опору 1 см³ розчину, що знаходиться між двома паралельними пластинами площею 1 см², віддаленими одне від одного на 1 см.

Величину, зворотну питомому опору, називають питомою електропровідністю **χ** = **1/ρ**, См × см⁻¹ (Сіменс× см⁻¹). Питома електропровідність чисельно дорівнює струму (в амперах), що проходить через шар розчину з поперечним перерізом, що дорівнює одиниці, під дією градієнта потенціалу 1 В на одиницю довжини.

Електропровідність розбавлених розчинів електролітів залежить від числа іонів в розчині (тобто від концентрації), числа елементарних зарядів, які переносяться кожним іоном (тобто від заряду іона), і від швидкості руху однаково заряджених іонів до катоду або аноду під дією електричного поля. З урахуванням усіх цих факторів електропровідні властивості іонів характеризують еквівалентною іонною електричною провідністю (рухливістю).

Еквівалентною електричною провідністю називають провідність розчину, що містить 1 моль-еквівалента речовини і перебуває між двома паралельними електродами, відстань між якими 1 см. Одиницями вимірювання є $\text{См} \times \text{см}^2 \times \text{моль}^{-1}$.

Питома і еквівалентна провідність пов'язані співвідношенням:

$$\lambda = 1000 \times \chi / c,$$

де c – молярна концентрація еквівалента, моль-екв/л.

Методи *прямої кондуктометрії* ґрунтуються на тому, що в області розведених і помірно концентрованих розчинів електрична провідність зростає зі збільшенням концентрації електроліту.

У практичній роботі зазвичай використовують заздалегідь побудовану градувальну криву залежності електричної провідності розчину від концентрації тих чи інших електролітів. У зв'язку з відносно близькими значеннями рухливості іонів кондуктометричні вимірювання дають інформацію головним чином лише про загальну концентрацію іонів у розчині. Мала селективність кондуктометричного методу істотно обмежує його застосування.

Вимірювання електричної провідності розчинів широко застосовують в титриметричному аналізі для визначення точки еквівалентності (*кондуктометричне титрування*). У методах кондуктометричного титрування вимірюють електричну провідність розчину після додавання невеликих певних порцій титранту і знаходять точку еквівалентності графічним методом за допомогою кривої в координатах $\chi - V_{\text{титранту}}$ (питома електропровідність – об'єм розчину титранту). Практично в цьому методі можуть бути використані такі хімічні реакції, в ході яких відбувається різка зміна (зазвичай зростання)

електричної провідності після точки еквівалентності (реакції кислотно-основної взаємодії, осадження і т. д.).

Токи, що мають частоту порядку мегагерц і десятків мегагерц, називають струмами високої частоти. При таких частотах в розчині починають відігравати роль ефекти молекулярної, або *деформаційної*, і *орієнтаційної поляризації*. Поляризація обох типів викликає короткочасний електричний струм (струм зсуву). Крім того, поляризація молекул призводить до істотної зміни діелектричної і магнітної проникності розчину, що відкриває нову можливість дослідження властивостей системи при титруванні.

При побудові кривої високочастотного титрування покази приладу відкладають по осі ординат як функцію об'єму доданого титранту. Промисловістю випускаються стандартні високочастотні титратори.

В осередках високочастотного титрування електроди не контактують з досліджуваним розчином, що є одним з істотних переваг методу.

Вирішення типових задач

Опір комірки (**R**) з концентрацією $c = 0,1$ моль-екв./л розчину NaCl дорівнює 46,8 Ом. Площа кожного електроду $S = 1,50$ см², а відстань між ними $l = 0,75$ см. Визначити питому електричну провідність χ та еквівалентну електричну провідність λ .

Рішення.

1. Електрична провідність **L** розчину розраховується за формулою:

$$L = 1/R = 1/46,8 = 0,0214 \text{ Ом}^{-1} = 0,0214 \text{ См};$$

2. Розраховуємо питому електричну провідність, χ :

$$L = \chi (S/l); \quad \chi = L \times l/S; \quad \chi = (0,0214 \times 0,75/1,50) = 0,0107 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1} = 0,0107 \text{ См} \cdot \text{см}^{-1}.$$

3. Розраховуємо еквівалентну електричну провідність, λ :

$$\lambda = (\chi \times 1000)/c = (0,0107 \times 1000)/0,1 = 107 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1} = 107 \text{ См} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}.$$

Відповідь: $\chi = 0,0107 \text{ См} \cdot \text{см}^{-1}$, $\lambda = 107 \text{ См} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$.

Завдання студенту

А. Визначити питому та еквівалентну електричну провідність розчину методом кондуктометричного аналізу згідно індивідуальних завдань №№ 1 – 20.

Б. Проаналізувати одержані розрахунки в залежності від концентрації розчину.

2.1.1 Індивідуальні завдання

1. Опір комірки (**R**) з концентрацією $c = 0,15$ моль-екв./л розчину KCl дорівнює 54,2 Ом. Площа кожного електрода $S = 1,70 \text{ см}^2$, а відстань між ними $l = 0,70$ см. Визначити питому електричну провідність χ та еквівалентну електричну провідність λ .

2. Опір комірки (**R**) з концентрацією $c = 0,24$ моль-екв./л розчину CaCl_2 дорівнює 60,3 Ом. Площа кожного електрода $S = 1,46 \text{ см}^2$, а відстань між ними $l = 0,65$ см. Визначити питому електричну провідність χ та еквівалентну електричну провідність λ .

3. Опір комірки (**R**) з концентрацією $c = 0,25$ моль-екв./л розчину BaCl_2 дорівнює 76,1 Ом. Площа кожного електрода $S = 1,75 \text{ см}^2$, а відстань між ними $l = 0,85$ см. Визначити питому електричну провідність χ та еквівалентну електричну провідність λ .

4. Опір комірки (**R**) з концентрацією $c = 0,22$ моль-екв./л розчину NaCl дорівнює 32,8 Ом. Площа кожного електрода $S = 1,80 \text{ см}^2$, а відстань між ними $l = 0,70$ см. Визначити питому електричну провідність χ та еквівалентну електричну провідність λ .

5. Опір комірки (**R**) з концентрацією $c = 0,18$ моль-екв./л розчину KCl дорівнює 38,1 Ом. Площа кожного електрода $S = 1,60 \text{ см}^2$, а відстань між ними $l = 0,65$ см. Визначити питому електричну провідність χ та еквівалентну електричну провідність λ .

6. Опір комірки (**R**) з концентрацією $c = 0,27$ моль-екв./л розчину BaCl_2 дорівнює 61,3 Ом. Площа кожного електрода $S = 1,65 \text{ см}^2$, а відстань між ними $l = 0,68$ см. Визначити питому електричну провідність χ та еквівалентну електричну провідність λ .

7. Опір комірки (**R**) з концентрацією $c = 0,19$ моль-екв./л розчину CaCl_2 дорівнює 53,2 Ом. Площа кожного електроду $S = 1,80 \text{ см}^2$, а відстань між ними $l = 0,70$ см. Визначити питому електричну провідність χ та еквівалентну електричну провідність λ .

8. Опір комірки (**R**) з концентрацією $c = 0,18$ моль-екв./л розчину NaCl дорівнює 44,8 Ом. Площа кожного електроду $S = 1,70 \text{ см}^2$, а відстань між ними $l = 0,88$ см. Визначити питому електричну провідність χ та еквівалентну електричну провідність λ .

9. Опір комірки (**R**) з концентрацією $c = 0,37$ моль-екв./л розчину KCl дорівнює 74,8 Ом. Площа кожного електроду $S = 1,80 \text{ см}^2$, а відстань між ними $l = 0,80$ см. Визначити питому електричну провідність χ та еквівалентну електричну провідність λ .

10. Опір комірки (**R**) з концентрацією $c = 0,31$ моль-екв./л розчину BaCl_2 дорівнює 72,6 Ом. Площа кожного електроду $S = 1,60 \text{ см}^2$, а відстань між ними $l = 0,78$ см. Визначити питому електричну провідність χ та еквівалентну електричну провідність λ .

11. Опір комірки (**R**) з концентрацією $c = 0,18$ моль-екв./л розчину CaCl_2 дорівнює 32,8 Ом. Площа кожного електроду $S = 1,40 \text{ см}^2$, а відстань між ними $l = 0,65$ см. Визначити питому електричну провідність χ та еквівалентну електричну провідність λ .

12. Опір комірки (**R**) з концентрацією $c = 0,21$ моль-екв./л розчину NaCl дорівнює 57,6 Ом. Площа кожного електроду $S = 1,70 \text{ см}^2$, а відстань між ними $l = 0,85$ см. Визначити питому електричну провідність χ та еквівалентну електричну провідність λ .

13. Опір комірки (**R**) з концентрацією $c = 0,11$ моль-екв./л розчину KCl дорівнює 40,3 Ом. Площа кожного електроду $S = 1,40 \text{ см}^2$, а відстань між ними $l = 0,65$ см. Визначити питому електричну провідність χ та еквівалентну електричну провідність λ .

14. Опір комірки (**R**) з концентрацією $c = 0,31$ моль-екв./л розчину CaCl_2 дорівнює 80,8 Ом. Площа кожного електроду $S = 1,80 \text{ см}^2$, а відстань між ними l

$=0,85$ см. Визначити питому електричну провідність χ та еквівалентну електричну провідність λ .

15. Опір комірки (**R**) з концентрацією $c = 0,41$ моль-екв./л розчину BaCl_2 дорівнює $89,1$ Ом. Площа кожного електроду $S = 1,60$ см², а відстань між ними $l = 0,85$ см. Визначити питому електричну провідність χ та еквівалентну електричну провідність λ .

16. Опір комірки (**R**) з концентрацією $c = 0,17$ моль-екв./л розчину NaCl дорівнює $54,7$ Ом. Площа кожного електроду $S = 1,70$ см², а відстань між ними $l = 0,70$ см. Визначити питому електричну провідність χ та еквівалентну електричну провідність λ .

17. Опір комірки (**R**) з концентрацією $c = 0,16$ моль-екв./л розчину KCl дорівнює $49,8$ Ом. Площа кожного електроду $S = 1,40$ см², а відстань між ними $l = 0,60$ см. Визначити питому електричну провідність χ та еквівалентну електричну провідність λ .

18. Опір комірки (**R**) з концентрацією $c = 0,23$ моль-екв./л розчину BaCl_2 дорівнює $65,4$ Ом. Площа кожного електроду $S = 1,70$ см², а відстань між ними $l = 0,70$ см. Визначити питому електричну провідність χ та еквівалентну електричну провідність λ .

19. Опір комірки (**R**) з концентрацією $c = 0,31$ моль-екв./л розчину CaCl_2 дорівнює $73,2$ Ом. Площа кожного електроду $S = 1,60$ см², а відстань між ними $l = 0,85$ см. Визначити питому електричну провідність χ та еквівалентну електричну провідність λ .

20. Опір комірки (**R**) з концентрацією $c = 0,24$ моль-екв./л розчину NaCl дорівнює $82,5$ Ом. Площа кожного електроду $S = 1,70$ см², а відстань між ними $l = 0,80$ см. Визначити питому електричну провідність χ та еквівалентну електричну провідність λ .

2.1.2 Контрольні питання

1. Вимірювання яких властивостей лежить в основі кондуктометричного аналізу? У яких одиницях ці властивості вимірюються і за допомогою яких пристроїв?
2. Які властивості в кондуктометрії прийнято позначати символами χ і λ ?

3. Як практично визначають концентрацію методом прямої кондуктометрії? Чому в основному використовується графічний шлях вирішення таких задач? Який вигляд має градувальний графік?
4. Які визначення неможливо виконати методом прямої кондуктометрії:
а) визначення якості дистильованої води; б) вмісту натрію і калію в морській воді, в) загального вмісту домішок у технічній сірчаній кислоті; г) загального вмісту солей в мінеральних водах? Відповідь поясніть.
5. Охарактеризуйте основні вузли приладу для кондуктометричного титрування.
6. Наведіть і поясніть хід кривої титрування суміші сильної і слабкої кислот лугом (на будь-якому конкретному прикладі). Як знайти об'єми, які були використані на титрування кожного з компонентів?
7. Як знаходять точку еквівалентності, якщо на кривій титрування немає чітко вираженого зламу?
8. Які з перерахованих переваг слід віднести до методу кондуктометричного титрування: а) висока точність; б) висока чутливість; в) можливість титрування каламутних і забарвлених розчинів; г) можливість аналізу сумішей двох речовин без попереднього поділу; д) можливість титрування в присутності сторонніх електролітів?
9. У чому сутність високочастотного титрування? Які особливості вимірювальної апаратури високочастотного титрування?
10. Які види кондуктометрії використовуються в аналізі?

2.2 Практична робота № 5.

Кулонометричний метод аналізу

Мета роботи – навчитись визначати кількість витраченої електрики та молярну концентрацію еквіваленту розчину

Основні поняття та визначення

В основу кулонометрических методів покладено закони електролізу Майкла Фарадея.

Закони М. Фарадея формулюються таким чином.

1. Кількість електроперетвореного (відновленого або окисненого) в процесі електролізу речовини прямо пропорційна кількості електрики, що пройшла.
2. Маса різних речовин, виділених або розчинених при проходженні однакової кількості електрики, пропорційні їх електрохімічним еквівалентам.

Електрохімічний еквівалент - це маса речовини, що виділилась на електроді (або розчиненої з електрода) в процесі електролізу при протіканні одиниці кількості електрики, тобто 1 Кл.

Сутність законів Фарадея полягає в тому, що для виділення одного моль-еквівалента будь-якої речовини в процесі електролізу необхідно затратити однакову кількість електрики, що називається числом Фарадея $F=96500$ Кл/ моль.

$$m = (Q/F) \times M/n,$$

де Q - кількість електрики (Кл), необхідна для виділення на електроді m грамів речовини з молярною масою еквівалента, що дорівнює M/n (M - молярна маса речовини; n - число електронів, що беруть участь в електродній реакції).

$$Q = I \times t,$$

Де I – сила струму, А (у амперах); t – час електролізу, с (у секундах).

Цілком зрозуміло, що застосування цієї формули вимагає, щоб електроліз протікав зі 100%-вою ефективністю струму (або з 100%-вим виходом за струмом, що можливо тільки за відсутності конкуруючих реакцій).

Розрізняють два основні види кулонометричних визначень - *пряму кулонометрію і кулонометричне титрування*.

У методах *прямої кулонометрії* електрохімічному перетворенню безпосередньо в кулонометричному осередку піддається аналізована речовина.

У методі *кулонометричного титрування* електролізу піддається допоміжна речовина, а далі продукт електролізу - титрант - реагує з визначуваною речовиною.

Кулонометричні визначення можуть проводитися при постійному потенціалі (потенціометрична кулонометрія) і постійній силі струму (амперметрична кулонометрія).

У прямій кулонометрії широко застосовують потенціостатичні методи. Масу визначуваної речовини розраховують за наведеною вище формулою.

У методі кулонометричного титрування використовуються установки з постійною силою струму. Вміст речовини, що визначається, розраховують за кількістю електрики, витраченої на генерацію необхідної для реакції з аналізованою речовиною кількості титранту. Кулонометричне титрування в значній мірі зберігає аналогію з іншими титрометричними методами. Основна відмінність відноситься до приготування титранту. У звичайних титрометричних методах його заздалегідь готують до точної величини зважування або стандартизують за спеціальними встановленими речовинами, а в методах кулонометричного титрування титрант генерується електрохімічним методом.

Визначення точки еквівалентності можна проводити потенціометричним, амперметричним, спектрофотометричним та іншими методами.

В кулонометричному титруванні використовуються хімічні реакції різних типів: кислотно-основні, окислювально-відновні, комплексоутворення та ін. різні відновники (Fe^{2+} , Sn^{2+} , Sb^{3+} , As^{3+} та ін..) можуть бути відтитровані, наприклад, перманганатом, який легко генерується з MnSO_4 в комірці з платиновим анодом. При анодному розчиненні хрому в сірчаній кислоті виходить дихромат-іон, який також може бути використаний для цього титрування. В кулонометричному титруванні широко застосовують також вільний бром, що генерується на платиновому аноді з броміду калію в соляній кислоті.

Установка для кулонометричного титрування при постійній силі струму містить наступні основні вузли: 1) джерело постійного струму, 2) пристрій для визначення кількості електрики, 3) електричну комірку з генераторним електродом, 4) індикаторну систему для визначення кінця титрування, 5) хронометр для визначення тривалості електролізу.

Індикаторна система призначена для індикації кінцевої точки титрування (к. т. т.). Найбільш широко для цієї мети використовують амперметричний і потенціометричний методи. У ґратку вводять індикаторні електроди: два платинових електроди (при амперметричній індикації) або платиновий і каломельний електроди (при потенціометричній індикації). Силу струму або

різницю потенціалів вимірюють відповідними приладами, що входять в комплект установки для титрування (блок індикації). Іноді для визначення к.т.т. використовують фотометричний метод, шляхом розташування ґратки у кюветному відділенні фотоелектроколориметра і вимірюючи світлопоглинання в ході титрування. В окремих випадках кінець титрування встановлюють візуально, наприклад, з появою забарвлення розчину, викликаного надлишком титранту.

Приладобудівна промисловість серійно випускає кулонометричні титратори, в яких для індикації кінцевої точки титрування використовується ампер метричний або потенціометричний методи.

Вирішення типових задач

На повне відновлення Zn при кулонометрії знадобилося 26 хв. при силі струму 100 мА. Визначити вміст (г) і концентрацію (моль/л) Zn у розчині, якщо на кулонометричний аналіз було взято 10 мл розчину.

Рішення:

Розраховуємо вміст (г) Zn за формулою:

$$m = Q / 96500 \times M / n = (I \times t / 96500) \times M / n,$$

де Q – кількість електрики, (Кл); I – сила струму, (А); t – час, (с); M – молярна маса, (г/моль);

M-молярна маса відповідає атомній масі речовини A , якщо вона одноатомна, і є сумою атомних мас елементів, якщо це сполука.

n – число електронів, що приймають участь в електродній реакції.

Таким чином, $m_{\text{Zn}^{2+}} = (0,1 \times 26 \times 60 / 96500) \times 65,38 / 2 = 0,05285$ г у 10 мл розчину, тоді у 1 л буде міститися $m = 5,285$ г/л або $c_{\text{Zn}^{2+}} = m / M = 5,285 / 65,38 = 0,0808$ моль/л.

Відповідь: $m_{\text{Zn}^{2+}} = 0,05285$ г; $c_{\text{Zn}^{2+}} = 0,0808$ моль/л.

Завдання студенту

А. Знайти вміст та концентрацію хімічного елемента в аналізованому розчині методом кулонометричного аналізу згідно індивідуальних завдань №№ 1 – 35.

Б. Проаналізувати одержані розрахунки в залежності від кількості розчину та часу проведення титрування.

2.2.1 Індивідуальні завдання

1. На кулонометричне титрування 10 мл розчину $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ йодом, що генерується у кулонометричній гратці, знадобилось 22 хв. при силі струму 300 мА. Визначити кількість витраченої електрики та молярну концентрацію еквіваленту розчину $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.
2. На повне відновлення Fe при кулонометрії знадобилося 15 хв. при силі струму 200 мА. Визначити вміст (г) і концентрацію (моль/л) Fe у розчині, якщо на кулонометричний аналіз було взято 15 мл розчину.
3. На кулонометричне титрування 20 мл розчину CaCO_3 , що генерується у кулонометричній гратці, знадобилось 12 хв. при силі струму 130 мА. Визначити кількість витраченої електрики та молярну концентрацію еквіваленту розчину CaCO_3 .
4. На повне відновлення Cu при кулонометрії знадобилося 25 хв. при силі струму 250 мА. Визначити вміст (г) і концентрацію (моль/л) Cu у розчині, якщо на кулонометричний аналіз було взято 25 мл розчину.
5. На кулонометричне титрування 30 мл розчину KNO_3 , що генерується у кулонометричній гратці, знадобилось 23 хв. при силі струму 150 мА. Визначити кількість витраченої електрики та молярну концентрацію еквіваленту розчину KNO_3 .
6. На повне відновлення Al при кулонометрії знадобилося 35 хв. при силі струму 360 мА. Визначити вміст (г) і концентрацію (моль/л) Al у розчині, якщо на кулонометричний аналіз було взято 30 мл розчину.
7. На кулонометричне титрування 35 мл розчину CuSO_4 , що генерується у кулонометричній гратці, знадобилось 18 хв. при силі струму 220 мА. Визначити кількість витраченої електрики та молярну концентрацію еквіваленту розчину CuSO_4 .
8. На повне відновлення Na при кулонометрії знадобилося 25 хв. при силі струму 260 мА. Визначити вміст (г) і концентрацію (моль/л) Na у розчині, якщо на кулонометричний аналіз було взято 20 мл розчину.
9. На кулонометричне титрування 15 мл розчину $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, що генерується у кулонометричній гратці, знадобилось 28 хв. при силі струму 240 мА. Визначити

кількість витраченої електрики та молярну концентрацію еквіваленту розчину $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$.

10. На повне відновлення Ва при кулонометрії знадобилося 15 хв. при силі струму 160 мА. Визначити вміст (г) і концентрацію (моль/л) Ва у розчині, якщо на кулонометричний аналіз було взято 10 мл розчину.

11. На кулонометричне титрування 18 мл розчину $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, що генерується у кулонометричній гратці, знадобилось 30 хв. при силі струму 180 мА. Визначити кількість витраченої електрики та молярну концентрацію еквіваленту розчину $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$.

12. На повне відновлення As при кулонометрії знадобилося 22 хв. при силі струму 270 мА. Визначити вміст (г) і концентрацію (моль/л) As у розчині, якщо на кулонометричний аналіз було взято 15 мл розчину.

13. На кулонометричне титрування 12 мл розчину $\text{K}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{OH}_2]$, що генерується у кулонометричній гратці, знадобилось 15 хв. при силі струму 280 мА. Визначити кількість витраченої електрики та молярну концентрацію еквіваленту розчину $\text{K}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{OH}_2]$.

14. На повне відновлення Ag при кулонометрії знадобилося 14 хв. при силі струму 230 мА. Визначити вміст (г) і концентрацію (моль/л) Ag у розчині, якщо на кулонометричний аналіз було взято 13 мл розчину.

15. На кулонометричне титрування 30 мл розчину MgSO_4 , що генерується у кулонометричній гратці, знадобилось 40 хв. при силі струму 180 мА. Визначити кількість витраченої електрики та молярну концентрацію еквіваленту розчину MgSO_4 .

16. На повне відновлення Cd при кулонометрії знадобилося 24 хв. при силі струму 220 мА. Визначити вміст (г) і концентрацію (моль/л) Cd у розчині, якщо на кулонометричний аналіз було взято 15 мл розчину.

17. На кулонометричне титрування 20 мл розчину $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, що генерується у кулонометричній гратці, знадобилось 20 хв. при силі струму 150 мА. Визначити кількість витраченої електрики та молярну концентрацію еквіваленту розчину $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

- 18.** На повне відновлення Zr при кулонометрії знадобилося 25 хв. при силі струму 200 мА. Визначити вміст (г) і концентрацію (моль/л) Zr у розчині, якщо на кулонометричний аналіз було взято 25 мл розчину.
- 19.** На кулонометричне титрування 10 мл розчину $\text{Ca}(\text{CrO}_2)_2$, що генерується у кулонометричній гратці, знадобилось 10 хв. при силі струму 110 мА. Визначити кількість витраченої електрики та молярну концентрацію еквіваленту розчину $\text{Ca}(\text{CrO}_2)_2$.
- 20.** На повне відновлення Mo при кулонометрії знадобилося 23 хв. при силі струму 210 мА. Визначити вміст (г) і концентрацію (моль/л) Mo у розчині, якщо на кулонометричний аналіз було взято 15 мл розчину.
- 21.** На кулонометричне титрування 15 мл розчину $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$, що генерується у кулонометричній гратці, знадобилось 20 хв. при силі струму 200 мА. Визначити кількість витраченої електрики та молярну концентрацію еквіваленту розчину $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$.
- 22.** На повне відновлення Ti при кулонометрії знадобилося 16 хв. при силі струму 180 мА. Визначити вміст (г) і концентрацію (моль/л) Ti у розчині, якщо на кулонометричний аналіз було взято 25 мл розчину.
- 23.** На кулонометричне титрування 22 мл розчину $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, що генерується у кулонометричній гратці, знадобилось 31 хв. при силі струму 100 мА. Визначити кількість витраченої електрики та молярну концентрацію еквіваленту розчину $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$.
- 24.** На повне відновлення Mg при кулонометрії знадобилося 18 хв. при силі струму 140 мА. Визначити вміст (г) і концентрацію (моль/л) Mg у розчині, якщо на кулонометричний аналіз було взято 15 мл розчину.
- 25.** На кулонометричне титрування 12 мл розчину $\text{Na}_3[\text{Cr}(\text{OH})_6]$, що генерується у кулонометричній гратці, знадобилось 11 хв. при силі струму 190 мА. Визначити кількість витраченої електрики та молярну концентрацію еквіваленту розчину $\text{Na}_3[\text{Cr}(\text{OH})_6]$.
- 26.** На повне відновлення Ni при кулонометрії знадобилося 28 хв. при силі струму 240 мА. Визначити вміст (г) і концентрацію (моль/л) Ni у розчині, якщо на кулонометричний аналіз було взято 12 мл розчину.

- 27.** На кулонометричне титрування 22 мл розчину $K[Al(OH)_4]$, що генерується у кулонометричній гратці, знадобилось 19 хв. при силі струму 160 мА. Визначити кількість витраченої електрики та молярну концентрацію еквіваленту розчину $K[Al(OH)_4]$.
- 28.** На повне відновлення Cr при кулонометрії знадобилося 26 хв. при силі струму 300 мА. Визначити вміст (г) і концентрацію (моль/л) Cr у розчині, якщо на кулонометричний аналіз було взято 17 мл розчину.
- 29.** На кулонометричне титрування 15 мл розчину $Na_2[Zn(OH)_4]$, що генерується у кулонометричній гратці, знадобилось 29 хв. при силі струму 130 мА. Визначити кількість витраченої електрики та молярну концентрацію еквіваленту розчину $Na_2[Zn(OH)_4]$.
- 30.** На повне відновлення Co при кулонометрії знадобилося 16 хв. при силі струму 310 мА. Визначити вміст (г) і концентрацію (моль/л) Co у розчині, якщо на кулонометричний аналіз було взято 16 мл розчину.
- 31.** На кулонометричне титрування 22 мл розчину $Na_2[Sn(OH)_4]$, що генерується у кулонометричній гратці, знадобилось 27 хв. при силі струму 170 мА. Визначити кількість витраченої електрики та молярну концентрацію еквіваленту розчину $Na_2[Sn(OH)_4]$.
- 32.** На повне відновлення Mn при кулонометрії знадобилося 26 хв. при силі струму 320 мА. Визначити вміст (г) і концентрацію (моль/л) Mn у розчині, якщо на кулонометричний аналіз було взято 26 мл розчину.
- 33.** На кулонометричне титрування 30 мл розчину $Na_2[Be(OH)_4]$, що генерується у кулонометричній гратці, знадобилось 16 хв. при силі струму 160 мА. Визначити кількість витраченої електрики та молярну концентрацію еквіваленту розчину $Na_2[Be(OH)_4]$.
- 34.** На повне відновлення Pb при кулонометрії знадобилося 16 хв. при силі струму 120 мА. Визначити вміст (г) і концентрацію (моль/л) Pb у розчині, якщо на кулонометричний аналіз було взято 19 мл розчину.
- 35.** На кулонометричне титрування 13 мл розчину $K_2[Zn(OH)_4]$, що генерується у кулонометричній гратці, знадобилось 5 хв. при силі струму 345 мА. Визначити

кількість витраченої електрики та молярну концентрацію еквіваленту розчину $K_2[Zn(OH)_4]$).

2.2.2 Контрольні питання

1. Який метод кількісного аналізу називається кулонометрією?
2. Які закони покладено в основу кулонометрії?
3. У чому відмінність методів прямої кулонометрії і кулонометричного титрування?
4. Наведіть принципову схему установки для кулонометричного титрування.
5. За яким законом змінюється сила струму в ході прямого кулонометричного визначення? Наведіть приклади прямих кулонометричних визначень.
6. Назвіть найбільш поширені способи фіксування точки еквівалентності в кулонометричному титруванні.
7. Вкажіть переваги і недоліки кулонометричних методів аналізу.

ІІІ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Метали і сплави є одними з найпоширеніших матеріалів для виготовлення конструкційних елементів, блоків, вузлів і деталей поліграфічних машин і механізмів. Від якості таких матеріалів і виробів з них залежить стабільна робота всього широкого комплексу обладнання поліграфічної галузі, що безпосередньо впливає на якість друкованої продукції.

Визначення фізико-механічних властивостей металів і сплавів відносяться до найпоширеніших методів випробувань як при виконанні наукових досліджень, так і при контролі параметрів якості металів і сплавів у лабораторіях на виробництві.

До фізико-механічних методів контролю відносяться статичні і динамічні методи вимірювання характеристик міцності, твердості і пластичності металів та сплавів. Ці характеристики металів і сплавів відносяться до групи структурно-чутливих властивостей і залежать від їх попередньої технологічної обробки, а саме, від виду термічної обробки або деформаційного впливу.

За величинами фізико-механічних властивостей металів і сплавів можна визначити правильність попередньої їх технологічної обробки, коректність обраних для неї температурних і деформаційних режимів, та надати висновки і рекомендації щодо подальшого використання досліджених матеріалів у виробництві.

3.1 Практична робота № 6

Основні фізико-механічні властивості металів і сплавів

Мета роботи – навчитись визначати характеристики міцності і пластичності металів і сплавів.

Основні поняття і формули

До головних фізико-механічних властивостей металів і сплавів відносяться твердість, межа міцності на розтяг (σ_B), межа міцності на згин (σ_{zg}), межа текучості (σ_T), ударна в'язкість (KC), відносне подовження (δ) і відносне звуження (ψ).

Такі фізико-механічні властивості, як твердість, межа міцності на розтяг (σ_B), межа міцності на згин (σ_{zg}) характеризують міцність матеріалів і визначаються, як правило, статичними методами випробувань із застосуванням твердомірів і випробувальних машин.

Межа текучості (σ_T), ударна в'язкість (KC), відносне подовження (δ) і відносне звуження (ψ) характеризують пластичність матеріалів і визначаються як статичними випробуваннями (межа текучості, відносне подовження, відносне звуження), так і динамічними методами випробувань (ударна в'язкість).

Визначення межі міцності на розтяг (σ_B), відносного подовження (δ) і відносного звуження (ψ)

Для того, щоб здійснити випробування на розтяг, необхідно підготувати зразки, зокрема, у формі гантелей, як найбільш розповсюдженої форми, розміри яких строго стандартизовано в таблицях державного стандарту. Деякі приклади форми зразків наведено на рис. 3.1.

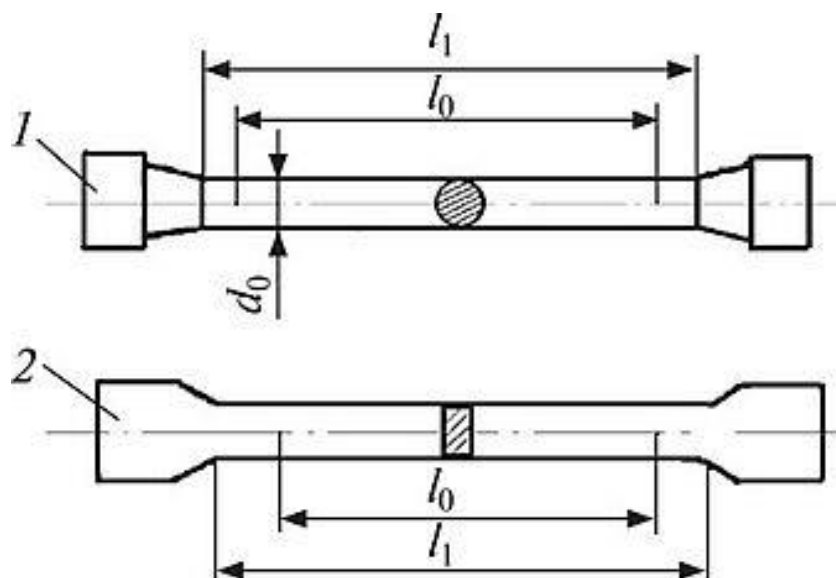


Рис. 3.1. Приклади форми зразків для випробувань на розтяг: верхній зразок круглої форми, нижній – плоскої форми

Найбільш розповсюджені зразки круглої форми, що мають розміри: довжина, $L - 100$ мм, діаметр робочої частини $d_0 - 10$ мм.

Методика випробувань наступна. Зразок закріплюється з обох кінців на машині для випробувань (рис. 3.2).

До закріпленого знизу і зверху захватами зразка прикладається зусилля. Навантаження збільшують до тих пір, поки зразок не зруйнується. На шкалі машини фіксується зусилля P_{\max} , при якому відбулось руйнування зразку, що передається на комп'ютер.

Запис всього процесу випробувань і отриманих значень зусиль руйнування, лінійної деформації зразка тощо відбувається на комп'ютері з відповідним програмним забезпеченням із зберіганням даних для подальшого використання.



Рис. 3.2. Машина для випробувань зразків на розтяг

Після цього виконують розрахунки межі міцності на розтяг σ_B за формулою:

$$\sigma_B = P_{\max}/S, \text{ МПа (кгс/мм}^2\text{)}$$

Площа поперечного перерізу S розраховується, вимірюючи d_0 зразка до випробувань за допомогою штангенциркуля.

На рис. 3.3. наведено зображення зразків до і після випробувань на розтяг.

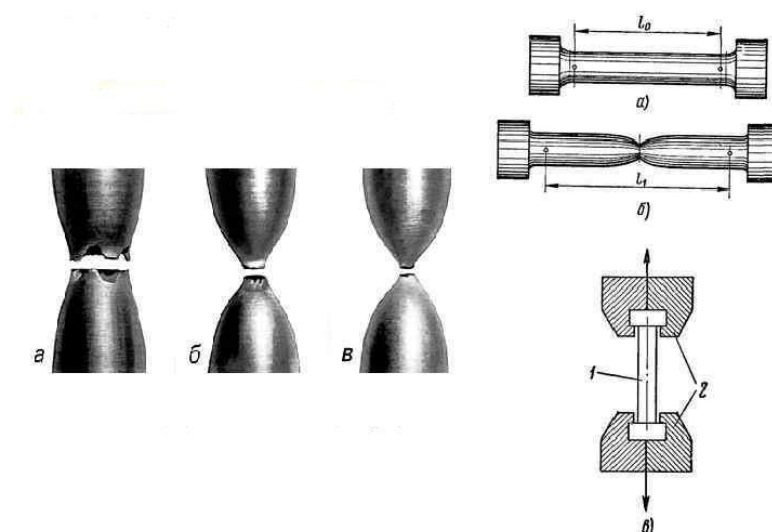


Рис. 3.3. Зображення зразків до і після випробувань на розтяг

Межа міцності на розтяг σ_B пов'язана **приблизним** співвідношенням з твердістю металів за Бринеллем, HB.

Приблизні співвідношення між межею міцності на розтяг σ_B і твердістю за Бринеллем **HB**

№	Матеріал	σ_B , МПа
1	Сталь з твердістю HB =1250–1750 МПа	0,343HB
2	Сталь з твердістю HB >1750 МПа	0,362HB
3	Литий алюміній і його сплави	0,26HB
4	Бронзи і латуні відпалені	0,40HB

Ці співвідношення є приблизними, орієнтовними і використовуються лише для оцінювання межі міцності металів і сплавів - σ_B . Точні і достовірні результати можуть дати лише прямі випробування.

При випробуваннях **на розтяг одночасно** визначаються **дві характеристики пластичності металів - δ – відносне подовження і ψ – відносне звуження.**

Застосовуються наступні формули для розрахунку відносного подовження δ і відносного звуження ψ :

$$\delta = ((l_k - l_0) / l_0) \times 100 \%,$$

де l_0 – початкова довжина зразка, l_k – кінцева довжина зразка.

$$\psi = ((S_0 - S_k) / S_0) \times 100 \%,$$

де S_0 – початкова площа поперечного перерізу зразка, S_k – кінцева площа поперечного перерізу зразка після випробувань

Визначення ударної в'язкості

Окрім відносного подовження δ і відносного звуження ψ ще однією важливою характеристикою пластичності є **ударна в'язкість**. Вона позначається ***KC – ударна в'язкість***.

Визначення ударної в'язкості відноситься до динамічних методів випробування. Прилади, на яких проводяться такі випробування, мають назву - *копер маятникового типу* (рис. 3.4).

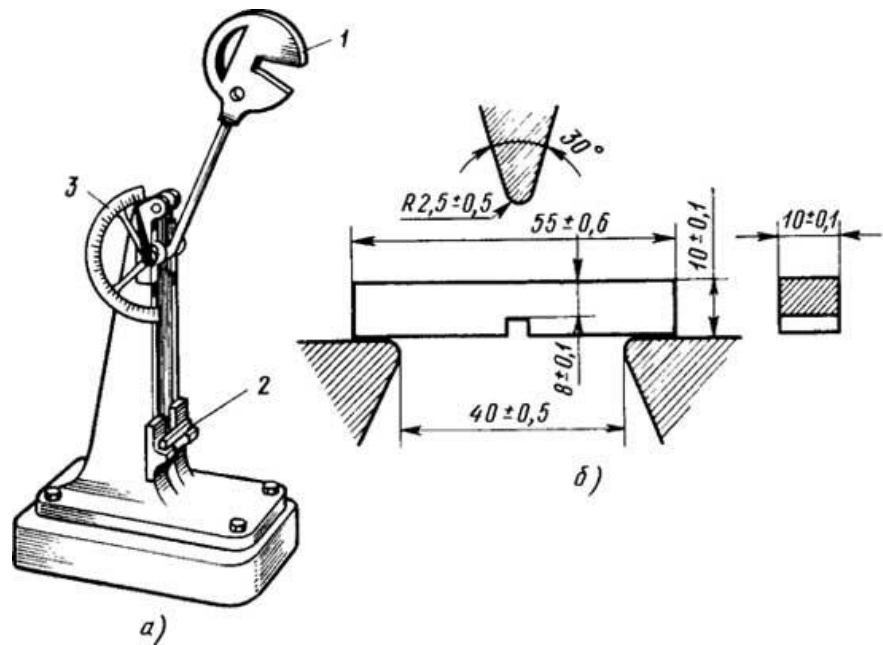


Рис. 3.4. Копер маятникового типу (а), зразок для випробувань (б).

Для випробувань литих і композиційних матеріалів використовують стандартні зразки прямокутної форми розмірами 10×10×55 мм (рис. 3.5). Посередині на зразках з литих сплавів вирізають невеликий надріз у формі латинських літер **U** або **V** (рис. 3.5) . Для зразків з композиційних матеріалів надріз не роблять, що пов'язано з пористою структурою таких матеріалів.

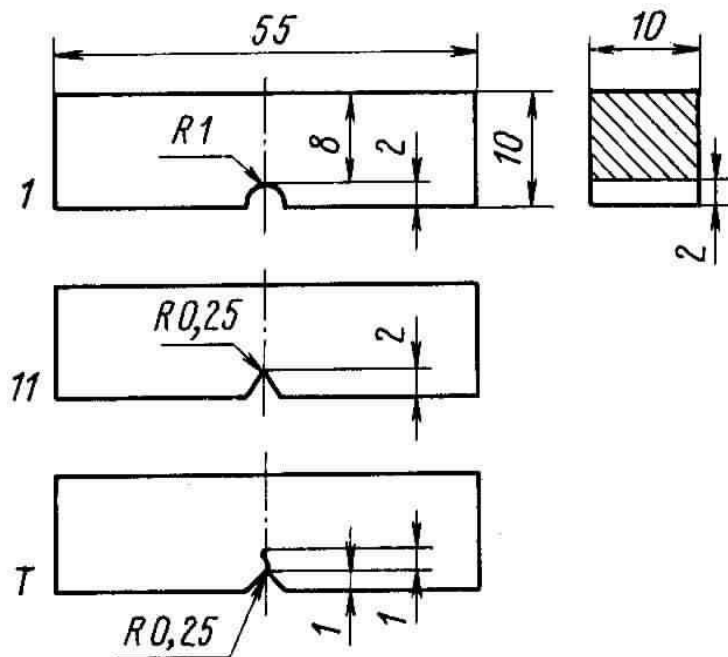


Рис. 3.5. Зразки для випробувань на ударну в'язкість з надрізами у формі латинських літер **U** або **V**

Залежно від форми надрізу до позначення ударної в'язкості КС додається третя літера, тобто використовуються відповідні позначення ударної в'язкості, а саме: **KCU або KCV**.

При виконанні випробування зразок встановлюється на копер, а після цього маятник ударяє по зразку і розбиває його. В цей момент по шкалі копра фіксується максимальна робота удару маятника **A**, яка призвела до руйнування зразка, робота **A** вимірюється у кгс×м, Н×м або Дж (Джоуль).

Ударна в'язкість розраховується за формулою:

$$\mathbf{KCU\ (KCV) = A/S, \ (Дж/м^2, \ кгс\times м/см^2, \ Н\times м/см^2),}$$

де **S** – площа поперечного перерізу зразка.

Завдання студенту

А. Виконати розрахунки фізико-механічних властивостей металів і сплавів згідно індивідуальних завдань №№ 1 – 40.

Б. Проаналізувати одержані результати і визначити вид попередньої зміцнюючої термічної обробки.

3.1.1 Індивідуальні завдання

1. Задача: Межа міцності на розтяг сталі 15 знаходиться в інтервалі $\sigma_{\text{в}} = 583,1\text{--}596,8$ МПа. Яка твердість сталі HB?
2. Задача: Латунь Л62 має твердість HB=1210 МПа. Яка межа міцності на розтяг $\sigma_{\text{в}}$ сплаву?
3. Задача: Знайти роботу удару маятника копра якщо ударна в'язкість сталі 35 складає 6,5 кДж/м², а розмірі зразка стандартні.
4. Задача: Знайти ударну в'язкість сталі 50, якщо робота удару маятника копра складала 1,2 Дж, а розмірі зразка стандартні.
5. Задача: Знайти відносне подовження δ бронзи БрО10, якщо початкова довжина зразка $l_0=100$ мм, а кінцева $l_k=125$ мм.

6. Задача: Знайти відносне звуження ψ сталі 70, якщо площа поперечного перерізу зразка після випробування на розтяг становить $69,8 \text{ мм}^2$, а початковий діаметр зразка - $10,01 \text{ мм}$.
7. Задача: Знайти межу міцності на розтяг σ_b сплаву АД1, якщо площа поперечного перерізу зразка $S=39,25 \text{ мм}^2$, а зусилля розриву $P=981,25 \text{ кгс}$.
8. Задача: Межа міцності на розтяг сталі 45 знаходиться в інтервалі $\sigma_b = 784,1-798,8 \text{ МПа}$. Яка твердість сталі НВ?
9. Задача: Бронза Бр.Б2 має твердість НВ=1610 МПа. Яка межа міцності на розтяг σ_b сплаву?
10. Задача: Знайти роботу удару маятника копра якщо ударна в'язкість сталі 40Х складає $7,9 \text{ кДж/м}^2$, а розмірі зразка стандартні.
11. Задача: Знайти ударну в'язкість сталі 65, якщо робота удару маятника копра складала $1,7 \text{ Дж}$, а розмірі зразка стандартні.
12. Задача: Знайти відносне подовження δ латуні Л59, якщо початкова довжина зразка $l_0=100 \text{ мм}$, а кінцева $l_k=115 \text{ мм}$.
13. Задача: Знайти відносне звуження ψ сталі 80, якщо площа поперечного перерізу зразка після випробування на розтяг становить $70,8 \text{ мм}^2$, а початковий діаметр зразка - $9,98 \text{ мм}$.
14. Задача: Знайти межу міцності на розтяг σ_b сплаву АК12, якщо площа поперечного перерізу зразка $S=39,15 \text{ мм}^2$, а зусилля розриву $P=990,45 \text{ кгс}$.
15. Задача: Знайти відносне подовження δ сталі 20Х13, якщо початкова довжина зразка $l_0=100,03 \text{ мм}$, а кінцева $l_k=117,04 \text{ мм}$.
16. Задача: Знайти відносне звуження ψ латуні Л60, якщо площа поперечного перерізу зразка після випробування на розтяг становить $69,83 \text{ мм}^2$, а початковий діаметр зразка - $10,02 \text{ мм}$.
17. Задача: Знайти межу міцності на розтяг σ_b сплаву АК12ММгН, якщо площа поперечного перерізу зразка $S=40,12 \text{ мм}^2$, а зусилля розриву $P=840,25 \text{ кгс}$.
18. Задача: Межа міцності на розтяг сталі 55 знаходиться в інтервалі $\sigma_b = 784,1-797,3 \text{ МПа}$. Яка твердість сталі НВ?
19. Задача: Латунь Л55 має твердість НВ=1280 МПа. Яка межа міцності на розтяг σ_b сплаву?

20. Задача: Знайти роботу удару маятника копра якщо ударна в'язкість сталі 55 складає $5,8 \text{ кДж/м}^2$, а розмірі зразка стандартні.
21. Задача: Знайти ударну в'язкість сталі 70, якщо робота удару маятника копра складала $2,4 \text{ Дж}$, а розмірі зразка стандартні.
22. Задача: Знайти відносне подовження δ сталі 9ХС, якщо початкова довжина зразка $l_0=100,04 \text{ мм}$, а кінцева $l_k=117,8 \text{ мм}$.
23. Задача: Знайти відносне звуження ψ сталі У7, якщо площа поперечного перерізу зразка після випробування на розтяг становить $70,08 \text{ мм}^2$, а початковий діаметр зразка - $9,97 \text{ мм}$.
24. Задача: Знайти межу міцності на розтяг σ_b бронзи БрАЖ-9-4, якщо площа поперечного перерізу зразка $S=40,22 \text{ мм}^2$, а зусилля розриву $P=988,75 \text{ кгс}$.
25. Задача: Межа міцності на розтяг сталі 35 знаходиться в інтервалі $\sigma_b = 789,8\text{--}797,4 \text{ МПа}$. Яка твердість сталі НВ?
26. Задача: Латунь Л65 має твердість НВ=1720 МПа. Яка межа міцності на розтяг σ_b сплаву?
27. Задача: Знайти роботу удару маятника копра якщо ударна в'язкість сталі 40ХС складає $8,1 \text{ кДж/м}^2$, а розмірі зразка стандартні.
28. Задача: Межа міцності на розтяг сталі 25 знаходиться в інтервалі $\sigma_b = 623,1\text{--}638,8 \text{ МПа}$. Яка твердість сталі НВ?
29. Задача: Латунь Л59 має твердість НВ=1320 МПа. Яка межа міцності на розтяг σ_b сплаву?
30. Задача: Знайти роботу удару маятника копра якщо ударна в'язкість сталі 45 складає $5,8 \text{ кДж/м}^2$, а розмірі зразка стандартні.
31. Задача: Знайти ударну в'язкість сплаву АД35, якщо робота удару маятника копра складала $2,3 \text{ Дж}$, а розмірі зразка стандартні.
32. Задача: Знайти відносне подовження δ бронзи БрОЦС-5-5-5, якщо початкова довжина зразка $l_0=100,03 \text{ мм}$, а кінцева $l_k=119,2 \text{ мм}$.
33. Задача: Знайти відносне звуження ψ сталі У8, якщо площа поперечного перерізу зразка після випробування на розтяг становить $70,4 \text{ мм}^2$, а початковий діаметр зразка - $10,03 \text{ мм}$.

34. Задача: Знайти межу міцності на розтяг σ_b сплаву АК8, якщо площа поперечного перерізу зразка $S=39,55 \text{ мм}^2$, а зусилля розриву $P=989,65 \text{ кгс}$.
35. Задача: Межа міцності на розтяг сталі 65 знаходиться в інтервалі $\sigma_b = 814,1 - 830,8 \text{ МПа}$. Яка твердість сталі НВ?
36. Задача: Бронза БрОЦС-6-6-1 має твердість НВ=1680 МПа. Яка межа міцності на розтяг σ_b сплаву?
37. Задача: Знайти роботу удару маятника копра якщо ударна в'язкість сталі 20Х складає $8,3 \text{ кДж/м}^2$, а розмірі зразка стандартні.
38. Задача: Знайти ударну в'язкість сталі 50, якщо робота удару маятника копра складала $1,9 \text{ Дж}$, а розмірі зразка стандартні.
39. Задача: Знайти відносне подовження δ латуні Л60, якщо початкова довжина зразка $l_0=100,03 \text{ мм}$, а кінцева $l_k=117,7 \text{ мм}$.
40. Задача: Знайти відносне звуження ψ сталі У9, якщо площа поперечного перерізу зразка після випробування на розтяг становить $72,8 \text{ мм}^2$, а початковий діаметр зразка - $10,02 \text{ мм}$.

3.1.2 Контрольні питання

1. До яких характеристик відносяться величини твердості і межі міцності на розтяг металів і сплавів?
2. Які властивості металів і сплавів характеризують їх пластичність?
3. Який найбільш пластичний зразок, з трьох зразків а), б) чи в), наведених на рис. 3.3?
4. Наведіть принципову схему установки для механічних випробувань на розтяг.
5. Наведіть принципову схему маятникового копра для механічних випробувань на ударну в'язкість.
6. Які типи зразків використовують при випробуваннях металів і сплавів на розтяг? Чим пояснюється їх різноманітність?
7. Які типи зразків використовуються при випробуваннях на ударну в'язкість металевих матеріалів? У чому особливості виготовлення зразків з литих і композиційних матеріалів для ударних випробувань?
8. Як пов'язані між собою характеристики міцності і пластичності металів?

9. Вкажіть від чого залежать міцносні і пластичні властивості металів і сплавів?
10. Як технологічними засобами можна впливати на фізико-механічні властивості металів і сплавів і одержувати матеріали з наперед заданими властивостями?

IV МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПЛАСТИЧНИХ МАС І ГУМИ

4.1 Практична робота № 7

Методи визначення основних механічних властивостей пластичних мас і гуми

Мета роботи – навчитись визначати основні механічні властивості полімерних матеріалів і виробів, виготовлених з пластичних мас і гуми, та розраховувати їх параметри.

Особливості визначення основних механічних властивостей пластичних мас

Обладнання, а саме, розривні випробувальні машини, використовують аналогічне, як і для випробування металевих зразків.

При випробуваннях пластмас для визначення пластичних характеристик, зокрема, **ударної в'язкості (КС)**, виготовляють такі ж зразки, як для металів, але, як правило, без надрізу. Для визначення ударної в'язкості застосовують аналогічне випробувальне обладнання, як і для металевих зразків.

Розрахунки ударної в'язкості пластмас виконуються за тими ж формулами, що і для металів.

Визначення ударної в'язкості пластмас іноді проводиться для визначення коефіцієнту ослаблення ударної в'язкості. Виконуються такі випробування на зразках прямокутної форми з надрізом і без надрізу.

В деяких випадках за потреби оцінюють *коефіцієнт ослаблення ударної в'язкості* пластмас як відношення значень ударної в'язкості зразка з надрізом до зразка без надрізу. Для цього виготовляють однакові зразки, частина яких має надріз, а частина зразків – без надрізу.

Визначення межі міцності на розтяг і на стискання пластмас.

Зразки для випробувань на *розтяг* плоскі - у вигляді двосторонніх лопаточок, на відміну від циліндричних, що використовуються для випробувань металів.

При випробуваннях на *стискання* зразки виготовляють у вигляді прямокутних паралелепіпедів.

Випробування на розтяг проводять на зразках, вирізаних в трьох напрямках: вздовж і поперек листа і під кутом в 45 (рис. 4.1, *а*).

Випробуванню на стискання піддають зразки, вирізані паралельно і перпендикулярно напрямку шарів, якщо пластмаса *шарувата* (рис. 4.1, *б*).

Випробування пластмас проводяться на звичайних універсальних розривних машинах із застосуванням спеціальних пристроїв для закріплення зразків, а також на спеціальних машинах.

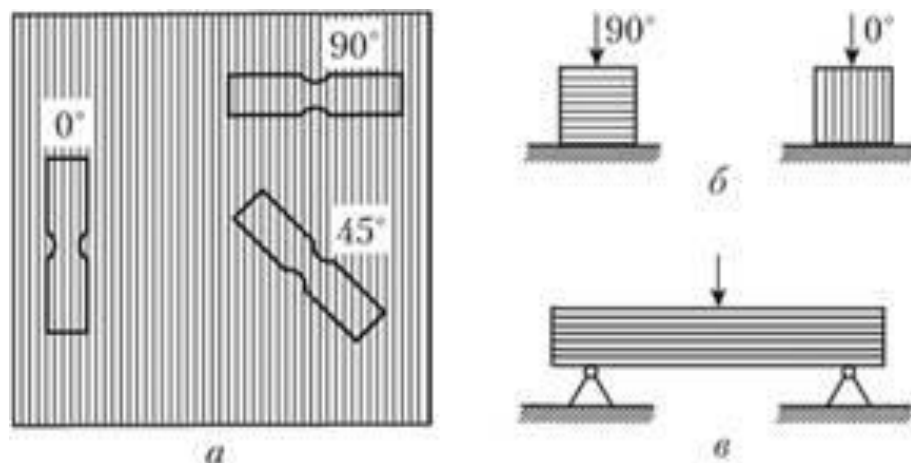


Рис. 4.1 Вирізка зразків шаруватого пластику для випробувань: *а* - на розтяг; *б* - на стискання; *в* - на згин

Якщо пластмаса є *монолітною*, напрям вирізки зразків для випробувань не має значення.

Випробування проводять на таких самих машинах для випробувань на розтяг і на стискання, як і у випадку металевих зразків.

Зразок піддається розтягу або стисканню до тих пір, поки він не зруйнується (розтяг) або не з'являться перші тріщини (стискання). В цей момент фіксується величина прикладеного навантаження **Р** на шкалі приладу.

Розрахунок величин межі міцності пластмас на розтяг $\sigma_{\text{в}}$ і на стискання $\sigma_{\text{ст.}}$ виконується за загальними формулами:

$$\sigma_{\text{в}} \text{ (або } \sigma_{\text{ст.}}) = P/S, \text{ (кгс/мм}^2, \text{ Па, Н/м}^2),$$

де S – площа поперечного перерізу зразка.

Межу міцності при розтязі $\sigma_{\text{в}}$, і при стисканні $\sigma_{\text{ст.}}$ пластмас визначають як відношення руйнуючого зусилля до площі поперечного перерізу зразка з урахуванням його геометричних розмірів:

$$\sigma_{\text{в}} = P/S, \quad S = b \times h,$$

$$\sigma_{\text{ст.}} = P/S, \quad S = b \times h,$$

де P - руйнівне навантаження, b і h - ширина і товщина (висота) зразка до випробування.

На відміну від металів, при механічних випробуваннях пластмас на розтяг відносно подовження і відносно звуження після руйнування *не визначаються*.

Пластмаси руйнуються без утворення шийки і подовжуються по всій довжині зразка. Залишкові деформації дуже малі у порівнянні з пружними.

Визначення межі міцності пластмас при вигині $\sigma_{\text{виг.}}$ проводиться на зразках прямокутного перетину, вирізаних як уздовж, так і поперек листа. Випробування проводять при зосередженому (треточковому) вигині (рис. 4.1, в).

Межа міцності пластмас при вигині $\sigma_{\text{виг.}}$ визначається за формулою:

$$\sigma_{\text{виг.}} = M/W,$$

де M - згинальний момент, $M = P \times l / 2$;

P - руйнівна сила; l - відстань між опорами; W - момент опору,

$$W = (b \times h^2) / 6;$$

де b і h - ширина і висота зразка до випробування.

Особливості визначення основних фізико-механічних властивостей гуми

Основні властивості гуми оцінюють шляхом випробувань на розтяг, визначення твердості, морозостійкості та стійкості до органічних розчинників.

Одними з основних фізико-механічних властивостей гуми є визначення *межі міцності на розтяг* та оцінювання *опору гуми до старіння*.

При випробуваннях **на розтяг** гуми визначають тимчасовий опір (межу міцності) σ_z , Н/м², МПа.

Одночасно при цих випробуваннях визначається відносне подовження в момент розриву – ϵ_z , %, а також залишкове відносне подовження – θ_z , %.

Методика проведення випробувань гуми на розтяг є аналогічною, як і для металевих зразків, випробувальне обладнання таке ж саме, як для металів.

Розрахункові формули для одержання показників межі міцності та подовження для гуми – аналогічні, як для металевих зразків.

Специфічним випробування гуми є визначення **опору старінню**. *Старіння* – це процес окиснення гуми при її тривалому зберіганні або експлуатації. Основною причиною старіння є окиснення каучуку, як основи гуми, яке полягає у приєднанні кисню в місцях подвійних зв'язків каучуків. В результаті цього молекули каучуку розриваються і молекула скорочується.

Старіння призводить до втрати еластичності, окрихчення гуми та появи сітки тріщин на поверхні гуми. Процес окиснення каучуків і гуми в цілому активізують механічні деформації, вплив теплоти, світла, випромінення.

Для оцінки гуми щодо **опору старінню** її випробують на старіння, виконуючи примусове старіння.

Методика проведення випробувань наступна: процес старіння проводять при $t = 70^\circ\text{C}$ протягом 144 годин.

Після цього розраховують так званий *коефіцієнт старіння гуми* k_c за формулою:

$$k_c = \epsilon'_z / \epsilon_z,$$

де ϵ_z – відносне подовження в момент розриву гуми до старіння, %;

ϵ'_z – відносне подовження гуми в момент розриву після старіння, %.

$$\epsilon'_z = (l_{k1} - l_0) / l_0 \times 100\%$$

$$\epsilon_z = (l_k - l_0) / l_0 \times 100\%$$

l_0 — початкова довжина зразка гуми; l_k — кінцева довжина зразка гуми до старіння;
 l_{k1} — кінцева довжина зразка гуми після старіння.

Завдання студенту

А. Виконати розрахунки механічних властивостей пластмас і гуми згідно індивідуальних завдань №№ 1 – 35.

Б. Проаналізувати одержані результати і зробити висновки щодо придатності до подальшого використання відповідних матеріалів.

4.1.1 Індивідуальні завдання

1. Задача: Знайти межу міцності на стискання пластмаси $\sigma_{ст.}$, якщо руйнівне навантаження $P = 240$ Н, розміри зразка $b = 12$ мм, $h = 3$ мм.
2. Знайти руйнівне навантаження P , якщо момент опору $W = 80$ мм³, відстань між опорами $l = 30$ мм, а межа міцності пластмаси при вигині $\sigma_{виг.} = 40$ кгс/мм².
3. Задача: Знайти руйнівне навантаження P , якщо розміри зразка $b = 12$ мм, $h = 3$ мм, а межа міцності на стискання пластмаси $\sigma_{ст.} = 2,36$ кгс/мм².
4. Задача: Знайти межу міцності пластмаси при вигині $\sigma_{виг.}$, якщо згинальний момент $M = 32$ кгс×м, а розміри зразка становлять $b = 14$ мм, $h = 3$ мм.
5. Задача: Знайти межу міцності на стискання пластмаси $\sigma_{ст.}$, якщо розміри зразка $b = 10$ мм, $h = 4$ мм, руйнівне навантаження $P = 160$ кгс.
6. Задача: Знайти руйнівне навантаження P , якщо межа міцності на розтяг пластмаси $\sigma_{в.} = 25$ кгс/мм², а розміри зразка $b = 20$ мм, $h = 2,5$ мм.
7. Задача: Знайти межу міцності на стискання пластмаси $\sigma_{ст.}$, якщо руйнівне навантаження $P = 200$ кгс, а розміри зразка $b = 15$ мм, $h = 3$ мм.
8. Задача: Знайти руйнівне навантаження P , якщо момент опору $W = 90$ мм³, відстань між опорами $l = 40$ мм, а межа міцності пластмаси при вигині $\sigma_{виг.} = 30$ кгс/мм².
9. Задача: Знайти руйнівне навантаження P , якщо межа міцності на стискання пластмаси $\sigma_{ст.} = 70$ кгс/мм², а розміри зразка $b = 20$ мм, $h = 4$ мм.

10. Задача: Знайти межу міцності на розтяг пластмаси $\sigma_{\text{в.}}$, якщо руйнівне навантаження $P = 188$ кгс, а розміри зразка $b = 30$ мм, $h = 3,5$ мм.
11. Задача: Знайти момент опору W , якщо згинальний момент $M = 4,0$ кгс \times м, а межа міцності пластмаси при вигині $\sigma_{\text{виг.}} = 40$ кгс/мм².
12. Задача: Знайти згинальний момент M , якщо момент опору $W = 2$ мм³, а межа міцності пластмаси при вигині $\sigma_{\text{виг.}} = 55$ кгс/мм².
13. Задача: Знайти межу міцності пластмаси при вигині $\sigma_{\text{виг.}}$, якщо руйнівне навантаження $P = 160$ кгс, відстань між опорами $l = 45$ мм, а розміри зразка $b = 22$ мм, $h = 4$ мм.
14. Задача: Знайти межу міцності на розтяг пластмаси $\sigma_{\text{в.}}$, якщо руйнівне навантаження $P = 620$ Н, а розміри зразка $b = 22$ мм, $h = 4$ мм.
15. Задача: Знайти межу міцності пластмаси при вигині $\sigma_{\text{виг.}}$, якщо руйнівне навантаження $P = 200$ кгс, відстань між опорами $l = 40$ мм, а розміри зразка $b = 20$ мм, $h = 4$ мм.
16. Задача: Знайти межу міцності на розтяг пластмаси $\sigma_{\text{в.}}$, якщо руйнівне навантаження $P = 950$ Н, а розміри зразка $b = 20$ мм, $h = 4$ мм.
17. Задача: Знайти руйнівне навантаження P , якщо межа міцності на стискання пластмаси $\sigma_{\text{ст.}} = 80$ кгс/мм², а розміри зразка $b = 25$ мм, $h = 3$ мм.
18. Задача: Знайти межу міцності пластмаси при вигині $\sigma_{\text{виг.}}$, якщо руйнівне навантаження $P = 160$ кгс, відстань між опорами $l = 30$ мм, а розміри зразка $b = 16$ мм, $h = 4$ мм.
19. Задача: Початкова довжина зразка гуми $l_0 = 100$ мм, при розриві зразка до старіння довжина збільшилась у 2 рази, при розриві зразка після старіння довжина l_{kl} збільшилась на 20%. Знайти коефіцієнт старіння гуми k_c .
20. Задача: Початкова довжина зразка гуми $l_0 = 200$ мм, при розриві зразка до старіння довжина l_k збільшилась у 1,5 рази, при розриві зразка після старіння довжина l_{kl} збільшилась на 10%. Знайти коефіцієнт старіння гуми k_c .
21. Задача: Початкова довжина зразка гуми $l_0 = 50$ мм, при розриві зразка до старіння довжина l_k збільшилась у 1,8 рази, при розриві зразка після старіння довжина l_{kl} збільшилась на 30%. Знайти коефіцієнт старіння гуми k_c .

- 22.** Задача: Знайти початкову довжину зразка гуми l_0 , якщо при розриві зразка до старіння довжина l_k збільшилась у 1,45 рази, при розриві зразка після старіння довжина l_{kl} збільшилась на 25%, а коефіцієнт старіння гуми $k_c = 0,22$.
- 23.** Задача: Знайти відносне подовження в момент розриву гуми до старіння ϵ_z , якщо початкова довжина зразка $l_0 = 120$ мм, кінцева довжина зразка гуми при розриві до старіння $l_k = 180$ мм; а також розрахувати коефіцієнт старіння гуми k_c , якщо, при розриві зразка після старіння довжина l_{kl} збільшилась на 25%.
- 24.** Задача: Початкова довжина зразка гуми $l_0 = 110$ мм, при розриві зразка до старіння довжина збільшилась у 1,6 рази, при розриві зразка після старіння довжина l_{kl} збільшилась на 25%. Знайти коефіцієнт старіння гуми k_c .
- 25.** Задача: Знайти відносне подовження в момент розриву гуми до старіння ϵ_z , якщо початкова довжина зразка $l_0 = 100$ мм, кінцева довжина зразка гуми при розриві до старіння $l_k = 130$ мм; а також розрахувати коефіцієнт старіння гуми k_c , якщо, при розриві зразка після старіння довжина l_{kl} збільшилась у 1,4 рази.
- 26.** Задача: Початкова довжина зразка гуми $l_0 = 180$ мм, при розриві зразка до старіння довжина l_k збільшилась у 1,7 рази, при розриві зразка після старіння довжина l_{kl} збільшилась на 20%. Знайти коефіцієнт старіння гуми k_c .
- 27.** Задача: Знайти відносне подовження в момент розриву гуми до старіння ϵ_z , якщо початкова довжина зразка $l_0 = 150$ мм, кінцева довжина зразка гуми при розриві до старіння $l_k = 220$ мм; а також розрахувати коефіцієнт старіння гуми k_c , якщо, при розриві зразка після старіння довжина l_{kl} збільшилась на 15%.
- 28.** Задача: Початкова довжина зразка гуми $l_0 = 140$ мм, при розриві зразка до старіння довжина l_k збільшилась у 1,8 рази, при розриві зразка після старіння довжина l_{kl} збільшилась на 15%. Знайти коефіцієнт старіння гуми k_c .
- 29.** Задача: Початкова довжина зразка гуми $l_0 = 210$ мм, при розриві зразка до старіння довжина l_k збільшилась у 2,0 рази, при розриві зразка після старіння довжина l_{kl} збільшилась на 17%. Знайти коефіцієнт старіння гуми k_c .
- 30.** Задача: Знайти відносне подовження в момент розриву гуми до старіння ϵ_z , якщо початкова довжина зразка $l_0 = 200$ мм, кінцева довжина зразка гуми при

розриві до старіння $l_k = 270$ мм; а також розрахувати коефіцієнт старіння гуми k_c , якщо, при розриві зразка після старіння довжина l_{kl} збільшилась на 10%.

31. Задача: Початкова довжина зразка гуми $l_0 = 170$ мм, при розриві зразка до старіння довжина l_k збільшилась у 1,9 рази, при розриві зразка після старіння довжина l_{kl} збільшилась на 20%. Знайти коефіцієнт старіння гуми k_c .

32. Задача: Знайти початкову довжину зразка гуми l_0 , якщо при розриві зразка до старіння довжина l_k збільшилась у 2 рази, при розриві зразка після старіння довжина l_{kl} збільшилась на 20%, а коефіцієнт старіння гуми $k_c = 0,25$.

33. Задача: Початкова довжина зразка гуми $l_0 = 100$ мм, при розриві зразка до старіння довжина збільшилась у 2,5 рази, при розриві зразка після старіння довжина l_{kl} збільшилась на 28%. Знайти коефіцієнт старіння гуми k_c .

34. Задача: Знайти відносне подовження в момент розриву гуми до старіння ϵ_z , якщо початкова довжина зразка $l_0 = 110$ мм, кінцева довжина зразка гуми при розриві до старіння $l_k = 140$ мм; а також розрахувати коефіцієнт старіння гуми k_c , якщо, при розриві зразка після старіння довжина l_{kl} збільшилась у 1,7 рази.

35. Задача: Знайти початкову довжину зразка гуми l_0 , якщо при розриві зразка до старіння довжина l_k збільшилась у 1,5 рази, при розриві зразка після старіння довжина l_{kl} збільшилась на 30%, а коефіцієнт старіння гуми $k_c = 0,3$.

4.1.2 Контрольні питання

1. До яких характеристик відносяться величини межі міцності на стискання, на вигин і на розтяг пластичних мас?
2. Які особливості виготовлення зразків для випробувань пластмаси на розтяг і на стискання?
3. Які особливості виготовлення зразків для випробувань пластмаси на ударну в'язкість? Що характеризує цей параметр?
4. Що таке коефіцієнт ослаблення ударної в'язкості? Як проводиться розрахунок?
5. Вкажіть від чого залежать механічні властивості пластмас?
6. Які особливості виготовлення зразків для випробувань пластмаси на вигин?
7. Які особливості контролю і розрахунків межі міцності пластмас на вигин?

8. Які особливості випробувань гуми на розтяг? Які характеристики визначають при випробуваннях гуми на розтяг?
9. Надайте порівняльну характеристику механічним випробуванням на розтяг для пластичних мас і гуми. У чому спільні риси і відмінності таких випробувань?
10. Що таке старіння гуми? Яка фізична сутність процесу старіння гуми?
11. Яка методика оцінювання опору старінню гуми?
12. Що таке коефіцієнт старіння гуми і як його визначають?

V МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПАПЕРУ І КАРТОНУ

5.1 Практична робота № 8

Особливості визначення структурних показників, механічних властивостей і взаємодії паперу і картону з рідинами

Мета роботи – навчитись визначати основні структурні характеристики, механічні властивості і показники взаємодії паперу і картону з рідинами, та робити висновки щодо можливості подальшого використання означених матеріалів.

Основні поняття і визначення

Під ***структурою паперу*** чи ***картону*** розуміють його склад, розподіл складників за площею і товщиною аркуша, а також характер зв'язків між складниками паперу. Умовно розрізняють *мікро-* та *макроструктуру* паперу та картону.

Мікроструктура показує будову складників паперу, їх орієнтацію, особливості зв'язків між собою і розподіл складників за товщиною аркуша.

Макроструктура характеризує розподіл складників паперу за площею аркуша, який погіршується за наявності згустків маси.

До *головних структурних показників* паперу відносяться **товщина, маса 1 м², щільність і пористість.**

Щільність – це маса у г об'єму 1 см³ речовини, або у кг 1 м³ речовини.

Щільність паперу, ρ залежить від ступеня розмелу волокон паперової маси, від кількості наповнювачів, а також від ступеня каландрування паперу. Для друкарських сортів паперу щільність лежить в межах 0,5 – 1,35 г/см³.

Розраховують щільність за формулою:

$$\rho = m/V,$$

де **m** – маса зразка, г; **V** – об'єм зразка, см³.

Щільність паперу тісно пов'язана з **пористістю**.

Пористість – це ступінь заповнення міжволокнистого простору паперу порами. Чим більша пористість паперу, тим менша його щільність.

Для характеристики пористої структури застосовують показник **пухкість**. *Пухкість* є оберненою величиною до щільності, **1/ ρ** , вимірюється у см³/г.

Особливості визначення основних механічних властивостей паперу і картону

До основних механічних властивостей паперу і картону відносяться:

- Стійкість поверхні до висмикування під час друку;
- Розривна довжина (міцність на розрив);
- Міцність на згин.

Міцність паперу на розрив визначається зусиллям, необхідним для розриву смужки паперу стандартної ширини 15 мм і вимірюється на розтяг на спеціальних приладах – *динамометрах*. Одиниці вимірювання - Н (Ньютони). Методика випробувань стандартна і описана в ГОСТ 13525.1.

Розривну довжину паперу, L , можна розрахувати, знаючи зусилля, при якому розривається смужка стандартної довжини:

$$L = \frac{l_0 \cdot P}{m},$$

де **L** – розривна довжина, мм; **l_0** – відстань між затискачами, мм; **P** – розривне зусилля, г (Н); **m** – маса, г (Н).

Існують деякі *особливі механічні випробування картону*, які не проводяться для паперу..

Жорсткість картону при згині, S (ДСТУ 2907-94), визначає зусилля, необхідне для згинання стандартного зразка картону на певний кут від початкового положення. Вимірюється у мН×м і розраховується за формулою:

$$S = F \times L^3 / (48 d \times b),$$

де F – сила згину, Н; L – довжина згину, м; b – ширина зразка, м; d – стріла прогину, м.

Сила опору до згинання картону, визначається за ДСТУ 3369-96. Методика дослідження полягає у тому, що закріплений за один кінець зразок згинається від початкового положення до досягнення заданого кута α , після чого визначається сила згину F за формулою:

$$F = R/l,$$

де R – згинаючий момент, мН×м; l – довжина зразка, м.

Опір до торцевого стискування для гофрованого і плоскосклеєного картону визначається як руйнівне зусилля при стискуванні зразка, поставленого на торець за ГОСТ 20683 (рис. 5.1а), а для картону товщиною не більше 0,7 мм — руйнівне зусилля при стискуванні зразка у вигляді кільця за ГОСТ 10711. (рис. 5.1б).

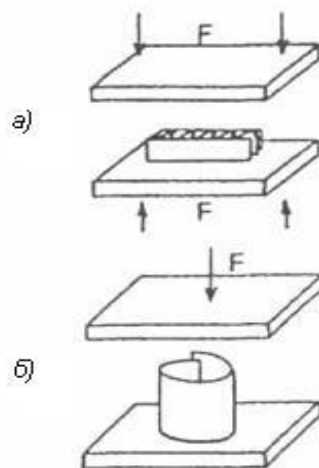


Рис. 5.1. Схема випробування картону на опір до торцевого стискування: а-для гофрованого і плоскосклеєного картону; б- для картону товщиною не більше 0,7 мм

Розрахунки виконуються за формулою :

$$q_{ст.} = F/l,$$

де $q_{ст.}$ - опір до торцевого стискування; F – руйнівне зусилля, Н; l – довжина зразка, м.

При визначенні *міцності до розшарування* зразок картону закріплюють між пластинами в затискачах розривної машини (рис. 5.2).

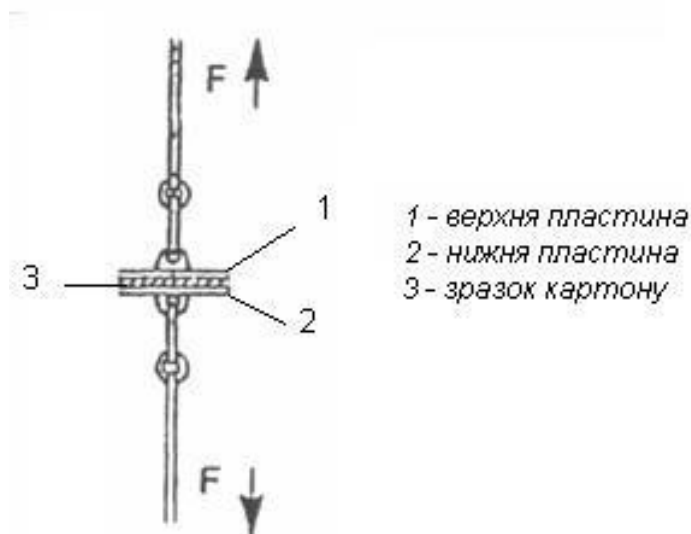


Рис. 5.2. Схема випробування картону на міцність до розшарування.

Дослідження проводять до появи розшарувань зразка (ГОСТ 13648.6) і величину міцності до розшарування σ_p розраховують за формулою:

$$\sigma_p = F/S,$$

де σ_p , Па (Н/мм², кгс/мм²), F – руйнівне зусилля при розшаруванні, Н; S – площа зразка, м².

Визначення характеристик взаємодії паперу і картону з рідинами

Вологість паперу і картону W визначається за ГОСТ 13525.19. Зважений зразок висушується в сушильній шафі при температурі 103 ± 2 °С. Після висушування зразок знову зважується і виконуються розрахунок вологості за формулою:

$$W = (m_1 - m_2) / (m_1 - m) \times 100\%,$$

де **m** - маса ємності для зважування зразка, **m₁** – маса ємності із зразком до висушування, г; **m₂** - маса ємності із зразком після висушування.

Поверхнева вбирна здатність картону визначається за ГОСТ 12605-85. Зважений зразок площею 10 × 10 см дотикається однією стороною до поверхні води протягом встановленого часу, після чого зразок знову зважується. Далі визначається маса поглинутої води для картону площею 1 м².

Поверхнева вбирна здатність **G** визначається за формулою:

$$G = 100(M_2 - M_1), \%$$

де **M₁**, **M₂** – маса зразка до і після випробування відповідно, г.

Завдання студенту

А. Виконати розрахунки властивостей паперу і картону згідно індивідуальних завдань №№ 1 – 30.

Б. Проаналізувати одержані результати і зробити висновки щодо придатності до подальшого використання відповідних матеріалів.

5.1.1 Індивідуальні завдання

1. Задача. Розрахувати пухкість паперу, якщо маса зразка **m** = 1,83 г, ширина зразка **b**=20 мм, довжина **l**=150 мм, товщина **h**=1,0 мм.
2. Задача. Знайти міцність до розшарування картону **σ_p**, якщо руйнівне зусилля **F** = 30 Н, ширина зразка **b**=20 мм, довжина **l**=150 мм.
3. Задача. Розрахувати згинаючий момент **R** при випробуванні на опір до згинання картону, якщо довжина зразка **l**= 120 мм, а сила згину **F**= 25 Н.
4. Задача. Знайти жорсткість картону при згині, якщо сила згину **F**=40 Н, довжина згину **L** =100 мм, ширина зразка **b** =30 мм, а стріла прогину **d**=0,15 м.
5. Задача. Знайти поверхневу вбирну здатність паперу, якщо маса зразка до випробування **M₁** =2,5 г, а після випробування маса зразка **M₂**=2,92 г.

6. Задача. Розрахувати пухкість паперу, якщо маса зразка $m = 1,95$ г, ширина зразка $b=18$ мм, довжина $l=140$ мм, товщина $h=1,2$ мм.
7. Задача. Знайти жорсткість картону при згині, якщо сила згину $F=60$ Н, довжина згину $L=200$ мм, ширина зразка $b=40$ мм, а стріла прогину $d=0,25$ м.
8. Задача. Знайти міцність до розшарування картону σ_p , якщо руйнівне зусилля $F=50$ Н, ширина зразка $b=25$ мм, довжина $l=170$ мм.
9. Задача. Знайти вологість зразка паперу W , якщо маса ємності для зважування $m=20$ г, маса ємності із зразком до висушування $m_1=25$ г, а маса ємності із зразком після висушування $m_2=22$ г.
10. Задача. Знайти поверхневу вбирну здатність паперу, якщо маса зразка до випробування $M_I=2,3$ г, а після випробування маса зразка $M_2=2,74$ г.
11. Задача. Знайти жорсткість картону при згині, якщо сила згину $F=67$ Н, довжина згину $L=170$ мм, ширина зразка $b=45$ мм, а стріла прогину $d=0,31$ м.
12. Задача. Розрахувати згинаючий момент R при випробуванні на опір до згинання картону, якщо довжина зразка $l=170$ мм, а сила згину $F=45$ Н.
13. Задача. Знайти міцність до розшарування картону σ_p , якщо руйнівне зусилля $F=60$ Н, ширина зразка $b=20$ мм, довжина $l=160$ мм.
14. Задача. Знайти вологість зразка паперу W , якщо маса ємності для зважування $m=25$ г, маса ємності із зразком до висушування $m_1=30$ г, а маса ємності із зразком після висушування $m_2=28$ г.
15. Задача. Розрахувати пухкість паперу, якщо маса зразка $m=2,7$ г, ширина зразка $b=14$ мм, довжина $l=150$ мм, товщина $h=1,12$ мм.
16. Задача. Розрахувати згинаючий момент R при випробуванні на опір до згинання картону, якщо довжина зразка $l=140$ мм, а сила згину $F=35$ Н.
17. Задача. Знайти вологість зразка паперу W , якщо маса ємності для зважування $m=25$ г, маса ємності із зразком до висушування $m_1=27$ г, а маса ємності із зразком після висушування $m_2=27,5$ г.
18. Задача. Знайти поверхневу вбирну здатність паперу, якщо маса зразка до випробування $M_I=3,8$ г, а після випробування маса зразка $M_2=3,94$ г.
19. Задача. Знайти жорсткість картону при згині, якщо сила згину $F=48$ Н, довжина згину $L=180$ мм, ширина зразка $b=35$ мм, а стріла прогину $d=0,2$ м.

20. Задача. Знайти міцність до розшарування картону σ_p , якщо руйнівне зусилля $F = 67$ Н, ширина зразка $b=25$ мм, довжина $l=140$ мм.
21. Задача. Знайти вологість зразка паперу W , якщо маса ємності для зважування $m = 15$ г, маса ємності із зразком до висушування $m_1 = 20$ г, а маса ємності із зразком після висушування $m_2 = 18$ г.
22. Задача. Знайти поверхневу вбирну здатність паперу, якщо маса зразка до випробування $M_1=3,2$ г, а після випробування маса зразка $M_2=3,78$ г.
23. Задача. Розрахувати згинаючий момент R при випробуванні на опір до згинання картону, якщо довжина зразка $l= 200$ мм, а сила згину $F= 60$ Н.
24. Задача. Знайти міцність до розшарування картону σ_p , якщо руйнівне зусилля $F = 57$ Н, ширина зразка $b=22$ мм, довжина $l=130$ мм.
25. Задача. Розрахувати пухкість паперу, якщо маса зразка $m = 2,05$ г, ширина зразка $b=15$ мм, довжина $l=160$ мм, товщина $h=1,3$ мм.
26. Задача. Знайти поверхневу вбирну здатність паперу, якщо маса зразка до випробування $M_1=1,7$ г, а після випробування маса зразка $M_2=1,91$ г.
27. Задача. Розрахувати пухкість паперу, якщо маса зразка $m = 2,13$ г, ширина зразка $b=15$ мм, довжина $l=120$ мм, товщина $h=1,3$ мм.
28. Задача. Знайти міцність до розшарування картону σ_p , якщо руйнівне зусилля $F = 65$ Н, ширина зразка $b=20$ мм, довжина $l=150$ мм.
29. Задача. Розрахувати згинаючий момент R при випробуванні на опір до згинання картону, якщо довжина зразка $l= 120$ мм, а сила згину $F= 30$ Н.
30. Задача. Знайти жорсткість картону при згині, якщо сила згину $F=55$ Н, довжина згину $L=170$ мм, ширина зразка $b=35$ мм, а стріла прогину $d=0,3$ м.

5.1.2 Контрольні питання

1. До яких характеристик відносяться величини щільності, пухкості і пористості паперу і картону?
2. Які основні механічні властивості паперу і картону і як вони визначаються?
3. Що характеризує параметр жорсткості картону?
4. Які особливості визначення міцності паперу на розрив?

5. Які особливості випробування картону на опір до торцевого стискування? Як проводиться розрахунок?
6. Вкажіть від чого залежать механічні властивості паперу і картону?
7. Які особливості випробування на опір до згинання картону? Який параметр характеризує опір картону до згинання?
8. Які особливості контролю і розрахунків міцності до розшарування картону?
9. Які особливості методики визначення і розрахунків поверхневої вбирної здатності паперу ?
9. Надайте порівняльну характеристику методам визначення вологості і поверхневої вбирної здатності паперу і картону.
10. Від чого залежать структурні властивості паперу і картону?
11. Яка методика визначення і розрахунків міцності до розшарування картону?
12. Надайте порівняльну характеристику методам визначення механічних властивостей паперу і картону. В чому їх спільні риси та відмінності?

Вимоги до звіту

Звіт з практичної роботи повинен містити:

1. Стислі теоретичні відомості щодо методів дослідження, аналізу та контролю властивостей матеріалів і виробів, відповідних до кожного розділу практичних робіт, основних законів та формул з визначення характеристик матеріалів.
2. Результати розрахунків індивідуального завдання.
3. Аналіз отриманих результатів та висновки по роботі.

Список літератури

1. Поліграфічні матеріали [Текст]/Під ред. Е. Т. Лазаренка. - Львів.: „Афіша”, 2001.-327с.
2. Костин П. П. Физико–механические испытания металлов, сплавов и неметаллических материалов [Текст] / П. П. Костин. – М.: Машиностроение, 1990. – 256 с.
3. Яценко Л.О. Поліграфічні матеріали [Текст]: Навч. посіб. / Л. О. Яценко. – Харків: УПА, 2011. – 269 с.

4. Енциклопедія видавничої справи [Текст]: навч. посібник / В. П. Ткаченко [та інші]. - Харків: Прапор.- 2008. - 320 с.
5. Механические свойства материалов. Методы испытаний: Лабораторный практикум [Текст] /Сост.: А. Э. Козловский, В.В. Бойцова.- Иван. гос. хим.-технол. ун-т.- Иваново, 2007.-60 с.
6. Шевчик В. Г. Методи розрахунку механічних властивостей картону [Текст]/ В. Г. Шевчик, С. Є. Хаджинова: Політехніка Лодзька, інститут паперової промисловості і поліграфії/Упаковка: Матеріали. - К. - 2013. - № 1. - С. 20–25.
7. Хюн Ю. Сравнительный анализ свойств упаковочных картонов [Текст] / Ю. Хюн, А. Буйнова, Е. Климова. // Полиграфия. -2005. - № 1. - С. 80–82.
8. Основы аналитической химии. В 2-х кн. Кн. 2. Методы химического анализа [Текст]/Ю. А. Золотов, Е. Н. Дорохова, В. И. Фадеева и др. Под ред. Ю. А. Золотова. – М.: Высшая школа, 2002. – 494 с.
9. Бортников В. Г. Основы технологии переработки пластических масс [Текст] / В. Г. Бортников.- Л.: Химия, 1983.
10. Захаров Н. Л. Основные свойства резин и методы их определения. Лабораторный практикум по технологии резины [Текст]/ Н. Л. Захаров, З. В. Черных.-М.: Химия.– 1976.– 240 с.
11. Пашуля П. Л. Основы метрології, стандартизації і сертифікації: Якість у поліграфії: Навч. посібн. [Текст]/ П. Л. Пашуля К.: ІЗМН, 1997. — 288 с.
12. Основы технологии переработки пластмасс: Учебник для вузов [Текст] / С. В. Власов, Л. Б. Кандырин, В. Н. Кулезнев и др. — М.: Химия, 2004. - 600с.
13. Баргштейн Л. А. Лабораторный практикум по технологии резины, - Учеб. Пособие, 2-е изд, перераб. [Текст]/ Л. А. Баргштейн.- Л.: Химия, – 1989. – с. 248.
14. Испытания материалов Справочник [Текст] / Под. ред. Х. Блюменуера; Пер. с нем. Под ред. М.Л. Бернштейна. – М.: Металлургия, 1979. - 448 с.
15. Васильев В. П. Аналитическая химия. Сборник вопросов, упражнений и задач [Текст]/ В. П. Васильев, Л. А. Кочергина, Т. Д. Орлова. Под ред. В. П. Васильева. – М.: Дрофа, 2003. – 320с.

16. Ляликов Ю.С. Задачник по физико-химическим методам анализа [Текст] / Сост.: Ю. С. Ляликов, М. И. Булатов, В. И. Бодю, С. В. Крачун. – М.: Химия, 1972. – 268 с.
17. Васильев В. П. Практикум по аналитической химии [Текст] / В. П. Васильев, Р. П. Морозова, Л. А. Кочергина.- М.: Химия.- 2000.–328 с.
18. Фізико-хімічні методи аналізу. Ч. 1. Оптичні та електрохімічні методи аналізу. Метод. вказівки до викон. практичних робіт для студ. напряму підготовки 0515 „Видавничо-поліграфічна справа” Видавничо-поліграфічного інституту [Текст] / Уклад.: Т. А. Роїк, Ю. Ю.Віщук. – К.: ВПІ ВПК «Політехніка», 2012. - 57 с.
19. Лурье Ю. Ю. Справочник по аналитической химии [Текст] / Ю.Ю. Лурье. – М.: Химия, 1979. – 480 с.
20. Методичні вказівки до практичних занять і самостійної роботи з дисципліни «Методи випробувань і досліджень металу шва і зварних з'єднань» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» (перевидання) [Текст] / Уклад.: Б. П. Татарин, М. І. Підгурський, С. Ю. Мариненко– Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2016. – 109 с.
21. Киричок П. О. Метали і композиційні матеріали в поліграфії: Навчальний посібник [Текст] /П. О. Киричок, Т. А. Роїк, А. С. Морозов - К.: НТУУ „КПІ”, 2011.- 228 с.
22. Діагностика і дефектоскопія матеріалів та виробів: Метод. вказівки до викон. лаборатор. робіт для студ. напряму підготовки 0901 “Інженерне матеріалознавство” інженерно-фізичного ф-ту [Текст]/ Уклад.: Т.А. Роїк, Ю.М. Подрезов, Ю.В. Черкащенко. - К.: ВПІ ВПК “Політехніка”, 2006.- 68 с.
23. Нормативные материалы по издательскому делу: Справочник [Текст]/ Сост. В. А. Маркус.- М.: Книга, 1987. - 48 с.
24. Електронні джерела: <https://web.archive.org/web/20090124230218/>, <http://testudo.net.ua/materialovedenie.html>.
25. Електронні джерела: http://www.marketing.vc/view_markets.php?num=10417
26. Електронні джерела: <http://www.publish.ru/articles/4394772/text/4043796.html>.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
I. ОПТИЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ.....	4
1.1 Практична робота № 1. Фотометричний метод аналізу.....	4
1.1.1 Індивідуальні завдання.....	8
1.1.2 Контрольні питання.....	26
1.2 Практична робота № 2. Емісійний спектральний аналіз.	27
1.2.1 Індивідуальні завдання.....	29
1.2.2 Контрольні питання.....	31
1.3 Практична робота № 3. Полум'яна емісійна спектроскопія. . . .	31
1.3.1 Індивідуальні завдання.....	33
1.3.2 Контрольні питання.....	37
II. ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ.....	37
2.1 Практична робота № 4. Кондуктометричний метод аналізу.....	38
2.1.1 Індивідуальні завдання.....	41
2.1.2 Контрольні питання.....	43
2.2 Практична робота № 5. Кулонометричний метод аналізу.....	44
2.2.1 Індивідуальні завдання.....	48
2.2.2 Контрольні питання.....	52
III ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ.....	52
3.1 Практична робота № 6. Основні фізико-механічні властивості металів і сплавів.....	53
3.1.1 Індивідуальні завдання.....	58
3.1.2 Контрольні питання.....	61
IV МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПЛАСТИЧНИХ МАС І ГУМИ.....	62
4.1. Практична робота № 7. Методи визначення основних механічних властивостей пластичних мас і гуми.....	62
4.1.1 Індивідуальні завдання.....	66
4.1.2 Контрольні питання.....	69
V МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПАПЕРУ І КАРТОНУ	70
5.1 Практична робота № 8 Особливості визначення структурних показників, механічних властивостей і взаємодії паперу і картону	70

з рідинами.....	
5.1.1 Індивідуальні завдання.....	74
5.1.2 Контрольні питання.....	76
Вимоги до звіту.....	77
Список літератури.....	77